ORSAY
Série A. N°
N° D'ordre
1o3

T H E S E S

présentées

A L A F A C U L T E D E S S C I E N C E S D' O R S A Y

U N I V E R S I T E D E P A R I S

pour obtenir le titre de Docteur de l'Université
(mention Sciences)

par

LE TRUNG - TAM

--ooOOoo--

1ère Thèse : CONTRIBUTION A L'ETUDE DE CERTAINS PHENOMENES D'UNE DECHARGE D' ARC A COURANT CONTINU ET EN ATMOSPHERES CONTROLEES.

2ème Thèse : AUTO-FOCALISATION DANS L'AIR ATMOSPHERIQUE D'UN FAISCEAU LASER.

Soutenues le 18 OCT 1971 devant la commission d'Examen

: Président

: J.L. DELCROIX

: Examinateurs

: J.P.WATTEAU

: P.HEROUIN

: L.CITTI

T H E S E S

présentées

A L A F A C U L T E D E S S C I E N C E S D' O R S A Y

U N I V E R S I T E D E P A R I S

pour obtenir le titre de Docteur de l'Université
(mention Sciences)

par

LE TRUNG - TAM

--ooOOoo--

1ère Thèse : CONTRIBUTION A L'ETUDE DE CERTAINS PHENOMENES D'UNE DECHARGE D' ARC A COURANT CONTINU ET EN ATMOSPHERES CONTROLEES.

2ème Thèse : AUTO-FOCALISATION DANS L'AIR ATMOSPHERIQUE D'UN FAISCEAU LASER.

Soutenues le devant la commission d'Examen

: Président

: J.L. DELCROIX

: Examinateurs

: J.P.WATTEAU
: P.HEROUIN
: L.CITTI

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

A la mémoire de mon Père
A ma Mère
A mes Parents
Aux miens

A Monsieur Laurent CITTI, Directeur du Laboratoire National d'Essais, qui m'a permis de devenir ce que je suis aujourd'hui, je lui exprime ma plus profonde reconnaissance et mon entier dévouement.

Au Docteur Ala El Dine ABDELLATIF, qui a guidé mes premiers pas en Spectroscopie d'Emission, je garde en mémoire toute sa bonté, son affection et sa confiance à mon égard.

A Messieurs Igor A. VOINOVITCH et Jean LOUVRIER, du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, je leur exprime mes remerciements les plus chaleureux pour leur aide efficace, désintéressée et spontanée.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550026_0017

Ce travail a été effectué au

LABORATOIRE NATIONAL d'ESSAIS

du CONSERVATOIRE NATIONAL des ARTS et METIERS

--ooOOoo--

Je prie Monsieur Paul GUERIN, Directeur du Conservatoire National des Arts et Métiers, d'accepter mes plus vifs remerciements pour m'avoir donné l'autorisation d'accomplir ce travail.

J'adresse à Monsieur le Professeur Maurice BELLIER, ancien Directeur du Laboratoire National d'Essais, l'expression de ma respectueuse gratitude pour l'honneur qu'il m'a fait en s'intéressant aux débuts de mes travaux.

Je tiens à exprimer mon entière reconnaissance à Monsieur Laurent CITTI, Directeur du Laboratoire National d'Essais, qui m'a autorisé et encouragé à poursuivre cette étude et qui a accepté de faire partie de mon Jury.

Je suis très profondément reconnaissant à Monsieur le Professeur Jean Louis DELCROIX d'avoir accepté la Direction de ma Thèse et la Présidence de mon Jury ainsi qu'à Messieurs les Professeurs Jean Paul WATTEAU et Paul HEROUIN, membres du Jury, dont les critiques et les conseils m'ont permis d'aboutir à la version définitive de ce travail.

Je remercie tout particulièrement d'une part, Messieurs A.E. ABDELLATIF, I. VOINOVITCH et J. LOUVRIER et d'autre part, Monsieur le Professeur G. MAYER, Messieurs P. LALLEMAND et M. PAILLETTE pour les précieuses suggestions qu'ils m'ont prodiguées avant et pendant mes travaux de Thèse.

Je remercie Monsieur le Professeur P. SEGUIN, Chef du Service Chimie du Laboratoire National d'Essais, de m'avoir donné toutes facilités d'effectuer mes travaux dans ses laboratoires.

Je tiens également à remercier Monsieur BOUSSON, Chef du Département Etalonnage et Instrumentation, Monsieur GRIFFON du Service Electronique et toute l'équipe de l'atelier, pour leurs contributions technologiques.

A Messieurs BERANGER, COMBAZ, FLAGEOLET, FROMENTIN, JAROUSSKY et LABORIE, Mesdames BUCAILLE et ERNULT, Mesdemoiselles BONTOUX, CARIN, KUNZ et RACHWALL qui m'ont apporté leur concours efficace à la correspondance, à la dactylographie, à la recherche bibliographique, au tirage et à la présentation de ce travail, je leur exprime mes plus vifs remerciements.

--oOOOo--

" CONTRIBUTION A L'ETUDE DE CERTAINS PHENOMENES D'UNE DECHARGE D'ARC A COURANT CONTINU ET EN ATMOSPHERES CONTROLEES ".

TABLE DES MATIERES

RESUME

INTRODUCTION 1

GENERALITES

- Spectrographe 3
- Source d'excitation 5
- Microdensitomètre 6
- Plaques utilisées 6
- Principe de dosage 6
- Coefficient de variation 8

PARTIE EXPERIMENTALE

- Dispositif d'injection des gaz 9
- Electrodes 10
- Gaz 11
- Condition d'enregistrement des spectres 11
- Enregistrement des spectres, reproductibilité et contrôle de la caractéristique de l'émulsion 11
- Mesures densitométriques 12
- Calculs 12

A)- PREMIERE PARTIE

" Comparaison entre les émissions cathodiques et anodiques des raies d'atomes neutres et ionisés du cuivre (ou du carbone) quand l'électrode en cuivre est cathodique (anode en carbone)ou anodique (cathode en carbone) d'un plasma d'arc à courant continu et en atmosphères contrôlées ". 13

- Atmosphère HELIUM 13
- Atmosphère ARGON 19
- Atmosphère AIR 20
- Conclusion de la première partie 21

B)- DEUXIEME PARTIE

" Exploration des zones cathodiques et anodiques de l'arc en atmosphères contrôlées ". 22

- Atmosphères HELIUM, ARGON, AIR 24
- Couple cuivre cathode / carbone anode 25
- Couple cuivre anode / carbone cathode 26

De l'analyse (poudre R.U.) 26

- Cathode en carbone 28
- Cathode en cuivre 28

C)- TROISIEME PARTIE

" Schema spectral de la colonne de décharge: Détermination des zones d'émission des éléments de la poudre R.U. contenue dans le cratère d'une anode en carbone ". 29

- Zones d'observation 30
- Méthode de mesure des températures 30
- Note sur les températures 33
- Atmosphère HELIUM 34
- Atmosphère ARGON, AIR 35
- Conclusion de la troisième partie 36

CONCLUSION 37

ANNEXE

- Méthode de J.R.CHURCHILL du tracé de la caractéristique de l'émulsion 41
- Températures 42
- Sur le couple de raies Zn 3282 /Zn 3076 45

REFERENCES : les références sont citées en bas des pages dans le texte. Elles ne sont pas reportées dans la bibliographie générale.

BIBLIOGRAPHIE GENERALE

--oOOOo--

RESUME

Ce travail porte sur une étude expérimentale

1)- de comparaison entre les émissions du cuivre mis à la cathode à celles où il est mis à l'anode, dans une décharge d'arc à courant continu, de même intensité et en atmosphères contrôlées.

De cette comparaison, il semble ressortir que si le cuivre est mis à la cathode, les intensités de ses raies d'émission de hauts potentiels d'excitation sont plus importantes que s'il est mis à l'anode. Puisque dans ces expériences, le carbone est utilisé comme contre-électrode, nous observons également, dans la série des expériences où le cuivre est anode et le carbone cathode, l'apparition des raies d'émission de hauts potentiels d'excitation du carbone: C II et III. Ce même phénomène est également observé dans les expériences de contrôle avec utilisation des couples: argent-carbone et aluminium-carbone.

Ainsi, dans nos conditions d'expériences, la cathode serait plus sensible que l'anode puisqu'elle émet facilement des raies d'emission de hauts potentiels d'excitation et confirme un fait connu.

2)- Afin de discerner une influence eventuelle de cette émission de la cathode sur les émissions de la charge d'un cratère anodique lors d'une émission d'analyse spectrale, nous avons utilisé une charge constituée par de la poudre R.U. introduite dans un cratère anodique en carbone et une cathode également en carbone. Une exploration systématique des différentes zones, du cratère anodique vers la pointe cathodique, nous a permis de tracer le "schéma de la répartition thermique" et le "schéma de la répartition des intensités" des divers constituants de la poudre R.U. tout le long de la colonne de décharge.

Ces dernières expériences semblent mettre en évidence que:

a) la répartition thermique serait homogène le long de la colonne de décharge, de l'anode vers la cathode, notamment quand les atmosphères argon ou air sont utilisées.

b) la répartition thermique ne serait pas homogène en atmosphère hélium: la température croît de l'anode vers la cathode.

c) les plus fortes intensités des raies d'émission pour la majorité des éléments de la poudre R.U., du cratère anodique, semblent se trouver dans la zone du voisinage de la cathode.

---oooOOooo---

I N T R O D U C T I O N

La méthode d'analyse par spectroscopie d'émission est de nos jours de plus en plus utilisée, concurremment aux méthodes chimiques traditionnelles.

Dans tous les cas de détection et de dosage de très faibles traces d'impuretés, son utilisation est rendue nécessaire par suite de sa très grande sensibilité. Jusqu'aux plus faibles teneurs en éléments décelables, l'analyse quantitative par spectroscopie d'émission est possible. Ces teneurs sont dans le meilleur des cas de l'ordre de 10^{-9}(1 partie par milliard)(°). Cette sensibilité est très supérieure à celle de l'analyse chimique. D'autre part, l'analyse par spectroscopie d'émission est spécifique car c'est le "précipité pur" de l'élément recherché qui est enregistré (observé).

La spectroscopie d'émission tient un rôle important dans les laboratoires des industries chimiques, notamment pour l'analyse des terres rares et pour le contrôle du degré de pureté des précipités chimiques obtenus.

En géologie, l'analyse spectroscopique permet la reconnaissance et le classement rapide des roches et des sols.

Grâce à sa rapidité, la spectroscopie d'émission est utilisée dans les laboratoires des industries métallurgiques (industries du fer, zinc, cuivre, aluminium...) pour le contrôle permanent de toutes les coulées, et suivre la composition du bain au cours de l'affinage ou au cours de l'élaboration des alliages.

La spectroscopie d'émission permet en outre d'effectuer des analyses non destructives sur des pièces métalliques finies:

l'homogénéité des échantillons peut ainsi être facilement contrôlée.

(°) P.MICHEL "La Spectroscopie d'Emission"
Armand Colin 1953

Malgré des avantages qui lui ouvre un large champ d'application, l'analyse par voie spectroscopique est encore de nos jours dans le domaine de l'empirisme et des tâtonnements. En effet, de nombreuses questions telles que:

- l'effet de matrice, ses causes et sa possible suppression,
- la relation existant entre la décharge électrique et les caractéristiques spectrales,
- l'influence de l'atmosphère gazeuse entourant le plasma de la décharge sur l'excitation des atomes et des ions,
- l'influence de la nature des électrodes,
- le facteur déterminant la sensibilité spectrale,
- .....

se posent encore à de nombreux chercheurs(°).

Cette présente étude a pour but d'apporter une contribution expérimentale sur le comportement des atomes et des ions du cuivre et du carbone évoluant au sein d'un plasma d'arc à courant continu et en atmosphères contrôlées par utilisation d'un couple d'électrodes différentielles cuivre-carbone, alternativement cathode et anode, ainsi que sur le comportement des ions et des atomes des éléments de la poudre R.U. introduite dans un cratère anodique en carbone lors de l'utilisation d'une cathode en carbone ou en cuivre.

---oooOOooo---

(°) "Method For Emission Spectrochemical Analysis"
A.S.T.M. Fourth Edition 1964

G E N E R A L I T E S

- Spectrographe
- Source d'excitation
- Microdensitomètre
- Principe de dosage

1 - SPECTROGRAPHE Z 3 de JOBIN & YVON

Spectrographe à optique de quartz.
L'organe dispersif de l'appareil est un prisme de Cornu à 65°.
L'association de 2 demi-prismes en quartz, de rotation gauche et droite, compense la biréfringence du quartz et évite le dédoublement de l'image dû à la polarisation des rayons émergents(°).

La hauteur d'arête du prisme est de 52 mm et la longueur des faces: 70 mm.

Le pouvoir de résolution peut être calculé à l'aide de la formule:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = (e_1 - e_2)\frac{dn}{d\lambda} = e\frac{dn}{d\lambda}$$

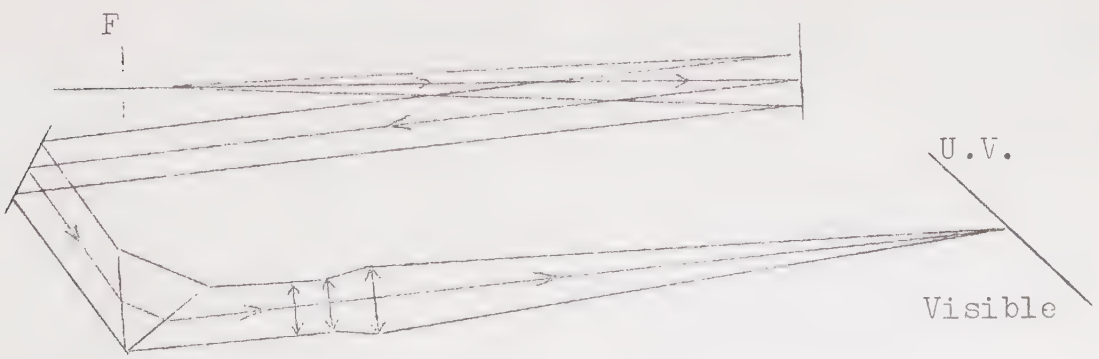
donc:

$$R = 70 \times 10^7 . \frac{dn}{d\lambda}$$

Puisque l'indice de réfraction n étant fonction de la longueur d'onde λ, on peut calculer n et également R pour chaque longueur d'onde.

La rotation du quartz est compensée par l'objectif de chambre qui est constitué par 3 lentilles en quartz de diamètre 70 et 100 mm et de distance focale 1900 mm.

L'inclinaison du spectre sur le rayon moyen est de 45°.



(°) P.MICHEL op. cit.

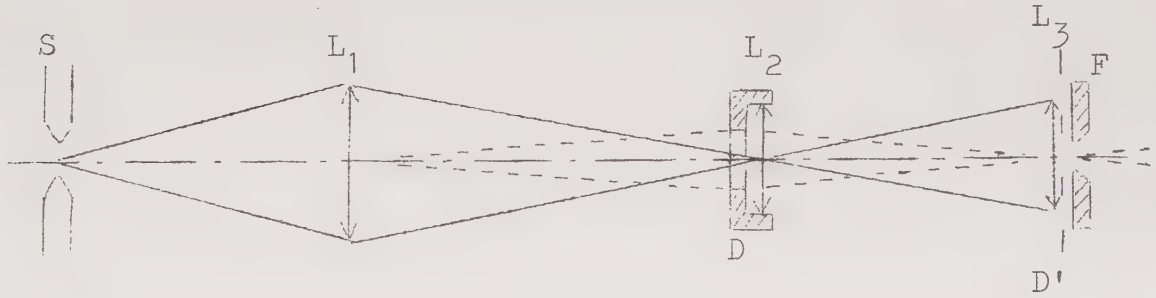
Ce système optique produit un spectre plan de 540 mm entre 2050 à 9000 Å.

Pour le domaine spectral que nous utilisons dans ce travail, 2300 à 3400 Å, la dispersion linéaire de l'appareil par rapport à la longueur d'onde est de l'ordre de:

2,4 Å /mm à 2300 Å
et 6,0 Å /mm à 3000 Å

L'optique comprise entre la fente et le prisme est constituée par 2 miroirs et elle est dénuée de toute aberration chromatique.

Comportant peu de pièces optiques, l'appareil perd peu de luminosité.

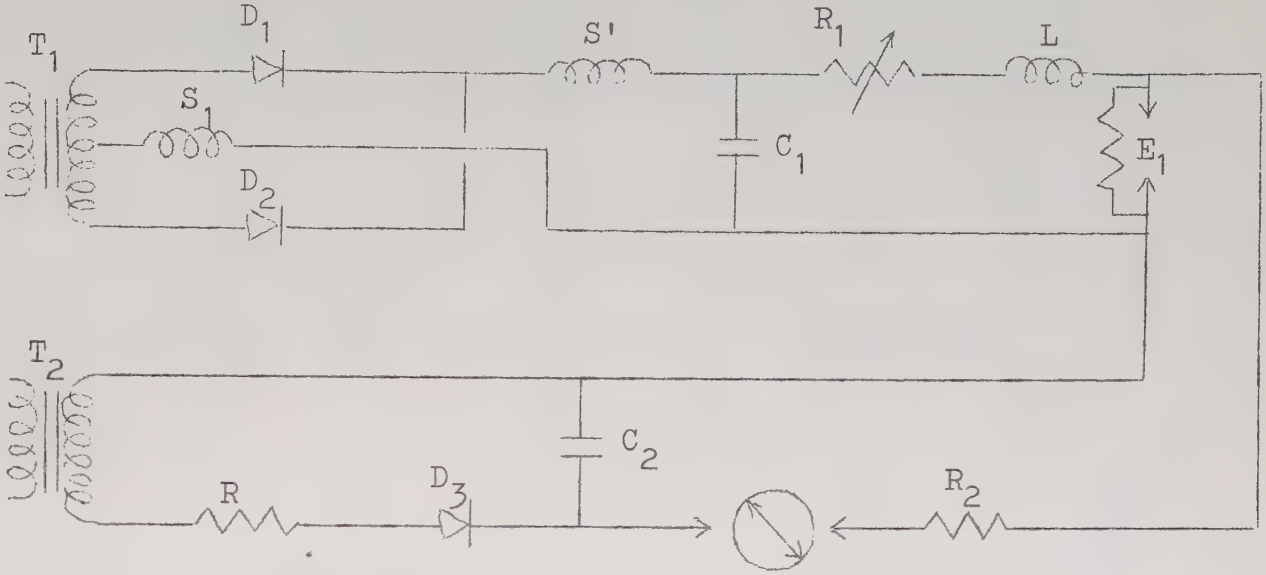


La lentille L_1 forme l'image de la source S sur le diaphragme D. L'objectif L_2 conjugue la lentille L_1 et la fente F. La lentille collectrice L_3 forme l'image du diaphragme D sur le prisme dispersif avec un grandissement tel que cette image couvre entièrement le prisme.

2 - SOURCE D'EXCITATION

MULTISOURCE A.R.L. 6900

La décharge utilisée est une décharge d'arc à courant continu.



Un pont redresseur double alternance constitué par des diodes D_1 et D_2 fait apparaitre aux bornes de l'éclateur E_1 une tension continue inférieure au potentiel disruptif de l'espace inter-électrodes E_1. Le phénomène est initié par une étincelle HF amortie. Cette étincelle est fournie par le circuit haute-tension alimenté par le transformateur T_2. La tension d'amorçage est de 15 kV(°). Dès que l'arc est amorcé, il s'entretient et est stabilisé par la résistance réglable R_1 et les selfs S_1, S' et L. Le filtrage de la tension continue est obtenu par les selfs S_1 , S' et L et par le condensateur C_1. Afin que le courant continu soit filtré de manière efficace, la self L est portée à sa valeur maximum, soit 360 μH et la valeur du condensateur C_1 amenée à 55 μF.

Le voltage de l'arc et le taux d'ondulation résiduelle mesurés aux bornes des électrodes en E_1, sont relevés à la page 5 bis.

Les mesures sont effectuées à l'oscilloscope "Tektronix" type 453, pour un arc de 3 mm de longueur, entre deux électrodes taillées en pointe de 60° (fig. de la page 10). Les différents gaz: hélium, argon ou air sont injectés tangentiellement au débit de 8 l/mn (fig. de la page 9).

(°) donnée par le constructeur.

Mesures effectuées à l'oscilloscope Tektronix type 453

		INTENSITES (ampères)	4,5	6,6	8,6	12,8	18,5
CUIVRE + CARBONE -	He	V	50,0	40,0	35,0	25,0	22,5
		∿	10,0	5,0	2,5	2,0	2,0
		T %	20,0	12,5	7,1	8,0	8,9
	Ar	V	40,0	32,0	30,0	25,0	23,0
		∿	5,0	2,0	2,0	1,0	1,0
		T %	12,5	6,2	6,7	4,0	4,4
	Air	V	28,0	25,0	20,0	16,0	15,0
		∿	5,0	2,0	1,0	0,5	0,5
		T %	17,8	8,0	5,0	3,1	3,3
CUIVRE - CARBONE +	He	V	60,0	50,0	40,0	35,0	30,0
		∿	20,0	10,0	5,0	10,0	2,0
		T %	33,3	20,0	12,5	28,6	6,7
	Ar	V	40,0	35,0	35,0	25,0	25,0
		∿	5,0	2,0	2,0	4,0	1,0
		T %	12,5	5,7	5,7	16,0	4,0
	Air	V	35,0	30,0	30,0	25,0	20,0
		∿	5,0	10,0	5,0	2,0	1,0
		T %	14,3	33,3	16,7	8,0	5,0

Chaque valeur est la moyenne arithmétique de dix mesures.

V : voltage moyen mesuré entre les électrodes pendant la décharge.

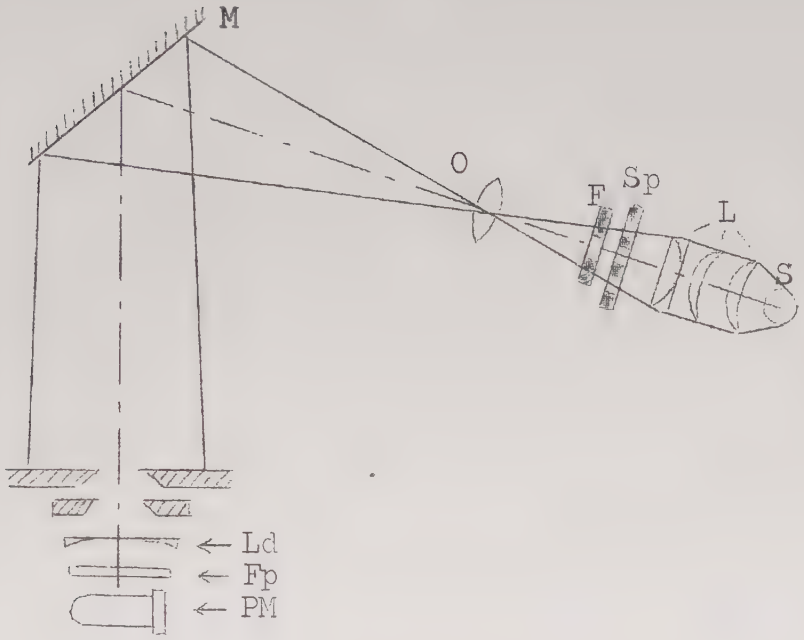
∿ : ondulation résiduelle moyenne, en volts (signal alternatif résiduel de 100 $p.sec^{-1}$)

T % : taux moyen d'ondulation résiduelle en pourcent.

3 - MICRODENSITOMETRE

Microdensitomètre "FUESS" 118

Ce microdensitomètre comprend un ensemble de projection et un ensemble de photométrie.



S : Source lumineuse
L : Condenseur
Sp: Spectrogramme
F : Filtre vert
O : Objectif de projection
M : Miroir de déviation
Ld: Lentille de dispersion
Fp: Fente pivotante
PM: Photomultiplicateur

4 - PLAQUES UTILISEES

Les plaques utilisées sont du type Spectrum Analysis n° 1 de Kodak dans l'ultra-violet et du type FP 4 de Ilford dans le visible. Ces plaques sont rapides et à grain fin.

5 - PRINCIPE DE DOSAGE(°)(+)

Le principe des méthodes analytiques utilisées généralement en spectroscopie d'émission repose sur une relation entre une concentration inconnue C et une lecture D au densitomètre telle que:

$$C = f(D)$$

(°) P.MICHEL op. cit.

(+) A.S.T.M. op. cit. norme E 158 - 60 T

L'intensité lumineuse d'une raie spectrale est fonction du nombre N d'atomes émetteurs selon une loi (SCHEIBE - LOMAKIN):

$$I = kN$$

ou encore $$I = kC \quad \text{(avec C: concentration)}$$

où k est une constante, utilisée pour la suite(°), dépendant de l'élément, de la raie et des conditions d'excitation.

Par ailleurs, la densité optique d est également fonction de I : l'émulsion photographique recevant une certaine raie d'intensité lumineuse I pendant un temps t possède, après traitement bien défini, une densité optique telle que:

$$d = \gamma \log It + C^{te}$$

D'autre part, la mesure effectuée au densitomètre permet d'obtenir d en fonction des lectures D_o et D selon:

$$d = \log (D_o / D)$$

donc:

$$d = \gamma \log It + C^{te} = \log (D_o / D)$$

Posant t = constante (ce qui est possible) et I_a , I_b les intensités des raies a et b, nous obtenons:

$$d_a - d_b = \gamma(\log I_a - \log I_b) = \log (D_o / D_a) - \log (D_o / D_b)$$

d'où:

$$\gamma \log (I_a / I_b) = \log (D_b / D_a)$$

et finalement:

$$\log (D_b / D_a) = \gamma \log \frac{k_a C_a}{k_b C_b}$$

(°) voir p.30 à "Méthode de mesure des températures".

6 - COEFFICIENT DE VARIATION

Le coefficient de variation ou erreur quadratique moyenne relative utilisé dans ce travail est calculé selon la formule classique:

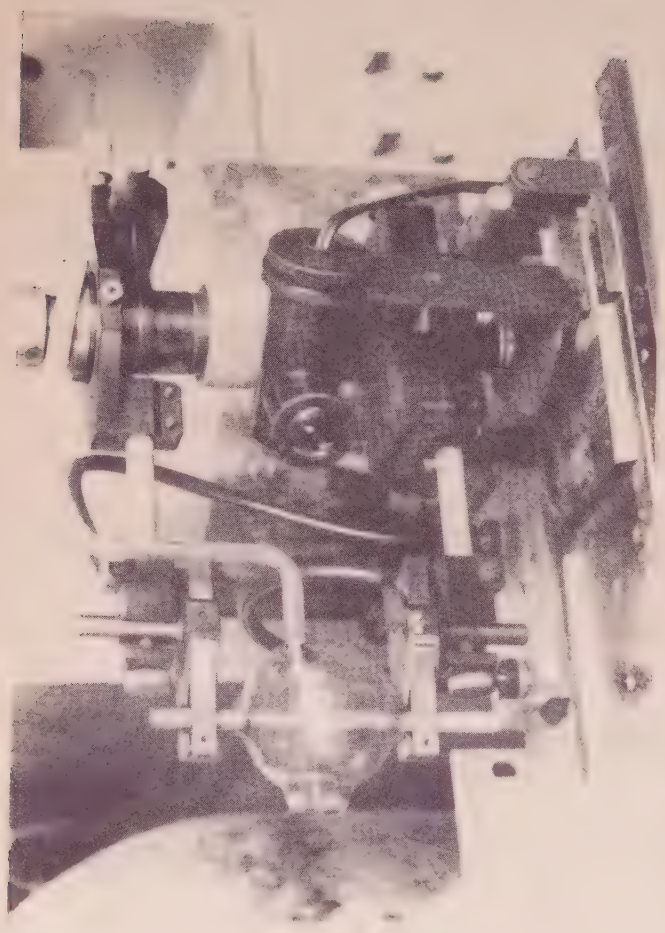
$$V = \frac{100}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum d^2}{n-1}}$$

où: $\bar{X}$: moyenne arithmétique de n mesures
d : différence entre la valeur d'une mesure individuelle avec la valeur moyenne $\bar{X}$
n : nombre de mesures
$n-1$: degrés de liberté

degrés de liberté(°): On peut dire que le nombre de degrés de liberté est le nombre d'éléments dont on dispose afin d'évaluer la dispersion d'un ensemble de résultats. Par exemple, si l'on a fait d'une grandeur une mesure unique, on n'a aucune possibilité d'apprécier la précision de la mesure, le nombre de degrés de liberté est nul. Avec deux mesures, on a un élément d'appréciation en considérant leur différence, donc un degré de liberté. Avec n mesures de la même grandeur, on peut dire qu'une mesure est nécessaire pour avoir une idée de la valeur vraie, il reste n-1 mesures qui peuvent servir à estimer la dispersion:

n-1 degrés de liberté.

(°) G.CHARLOT, D.BEZIER "Analyse Quantitative Minérale" MASSON 1955



P A R T I E E X P E R I M E N T A L E

I/- DISPOSITIF D'INJECTION DES GAZ

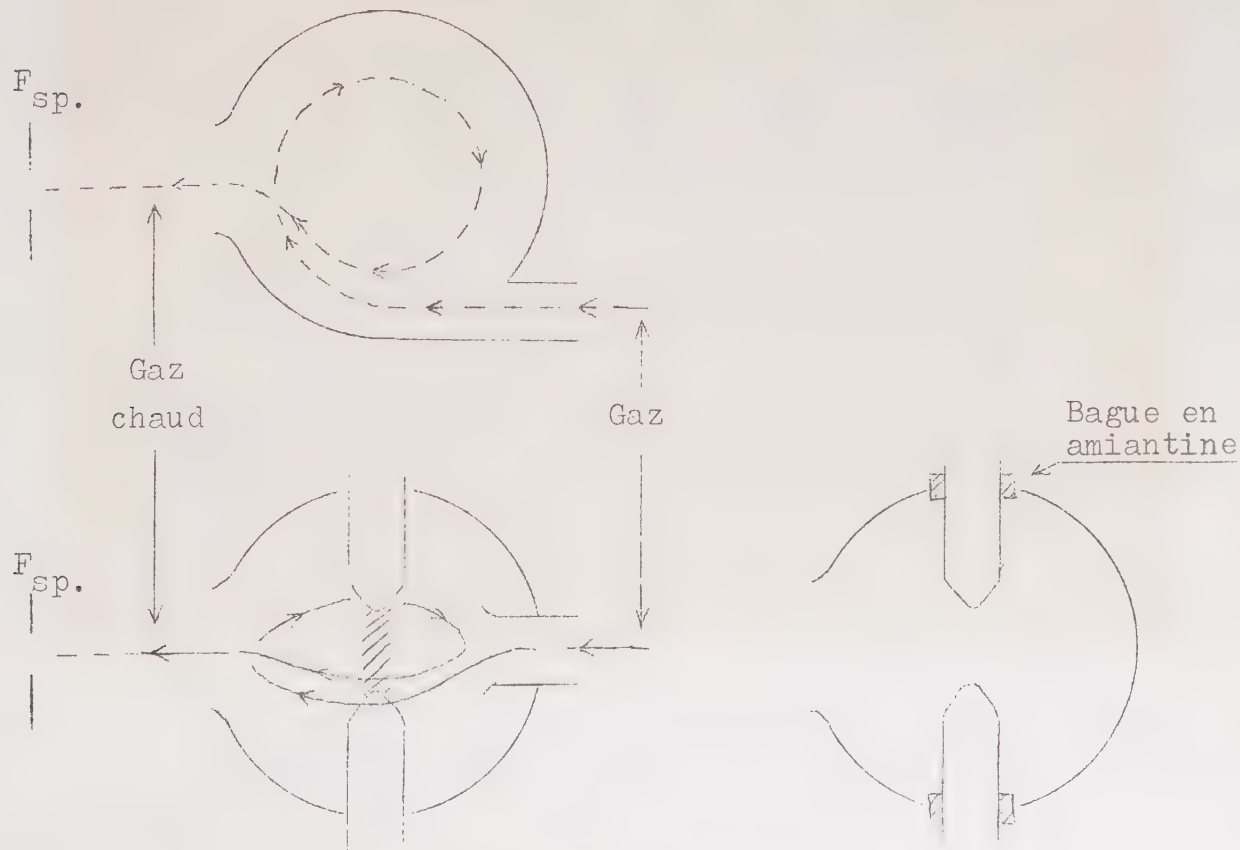
Type à tourbillons ou "vortex" (voir photo)

Le dispositif, en verre pyrex, est une enceinte sphérique de 5 cm de diamètre munie de 3 trous et une tubulure d'arrivée des gaz:

Deux trous de diamètre 8 mm sont prévus pour le passage des électrodes. Le troisième trou de diamètre 10 mm afin de laisser passer la totalité de la lumière provenant de la décharge, est orienté vers la fente d'entrée du spectrographe.

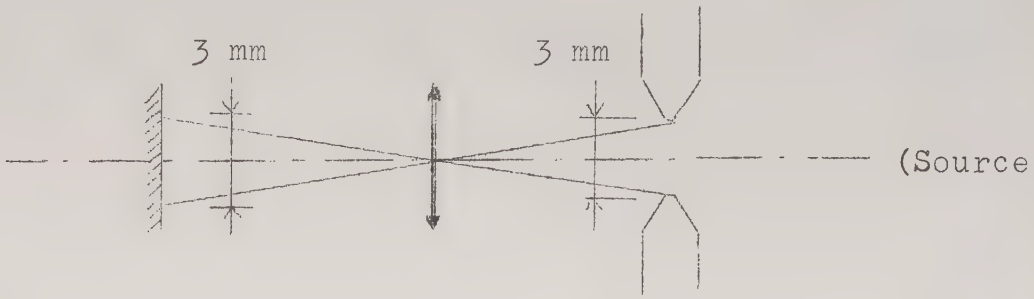
La tubulure d'arrivée des gaz, 3 mm de diamètre intérieur, est soudée tangentiellement à la sphère de façon à créer une arrivée tourbillonnaire du gaz autour du plasma de la décharge avant de s'échapper par les orifices de la sphère, notamment par le trou de 10 mm.

Les observations se font au travers de gaz chauds



L'étanchéité entre la sphère et les électrodes est assurée par des bagues en "amiantine". Elle est cependant relative car un certain jeu est nécessaire pour le positionnement des électrodes.

Le réglage de l'espace inter-électrodes est réalisé par projection de l'image des électrodes sur un écran préalablement étalonné comme montré sur la figure ci-dessous:



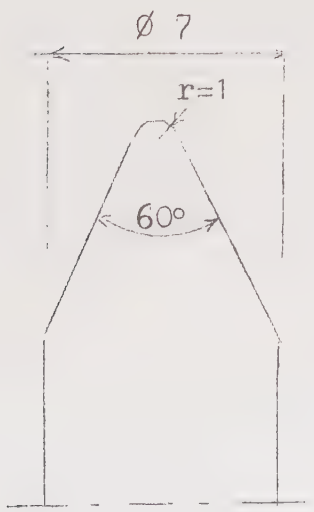
II/- ELECTRODES

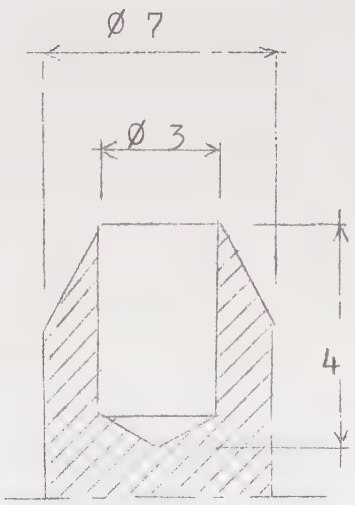
Les électrodes sont:

Graphite : Carbone-Lorraine, Qualité 208 de diamètre 7 mm. (elles sont taillées juste avant utilisation)

Cuivre : Pur, électrolytique, de diamètre 7 mm. (elles sont lavées à l'acide nitrique juste avant utilisation)

Ces électrodes sont taillées en pointe de 60° terminée en hémisphère de 1 mm de rayon, ou en cratère de diamètre 3 mm et de profondeur 4 mm.





III/- GAZ

HELIUM et ARGON sont de pureté 99,99 %

Hélium, argon et air comprimé sont successivement désséchés sur de la "driérite" puis sur du perchlorate de magnésium. Le point de rosée des gaz ainsi désséché est $\leqslant -60°$ C.

Le débit des différents gaz, contrôlé au débitmètre-rotamètre, est maintenu constant à 8 l/mn avant et pendant toute la durée de la décharge.

IV/- CONDITIONS D'ENREGISTREMENT DES SPECTRES

Fente du spectrographe: 30 μ

Filtre : filtre à 2 échelons permettant une transmission de 100 et 10 % du rayonnement est appliqué directement sur la fente du spectrographe.

Préflambage : 0 seconde

Pose : 20 secondes

Intensités : les intensités des décharges utilisées dans la première partie de ce travail sont: 4,5 - 6,6 - 8,6 - 12,8 et 18,5 ampères(°).

V/- ENREGISTREMENT DES SPECTRES, REPRODUCTIBILITE ET CONTROLE DE LA CARACTERISTIQUE DE L'EMULSION

Pour la reproductibilité, chaque série de spectres est reproduite 10 fois sur 10 plaques différentes. Sur chacune de ces plaques, il a été en outre enregistré un spectre du fer avec utilisation d'un filtre à 2 échelons de 100 et 50 % de transmission pour contrôler la pente de la caractéristique de l'émulsion(+)

(°) intensités moyennes mesurées pendant la décharge

(+) caractéristique de l'émulsion tracée selon la méthode de J.R.CHURCHILL. Voir en annexe la description de la méthode.

VI/- MESURES DENSITOMETRIQUES

Un filtre à 2 échelons étant utilisé, les spectres enregistrés sur les plaques comportent donc une plage FILTREE et une plage NON FILTREE. Aussi:

Si une raie est mesurée dans sa partie filtrée, quelles que soient les variations des conditions opératoires(différence de polarité, de gaz ou d'intensité), elle sera toujours mesurée dans sa partie filtrée. Par exemple:

I Cu 2441 (cathode) FILTREE / I Cu 2441 (anode) FILTREE
ou encore:
I Mg 2790 (hélium) FILTREE / I Mg 2790 (argon) FILTREE

VII/- CALCULS

Les rapports des intensités des raies spectrales sont calculés à l'aide de la caractéristique de l'émulsion:

La courbe de la caractéristique de l'émulsion est tracée sous la forme $\log D = f(\log I)$.

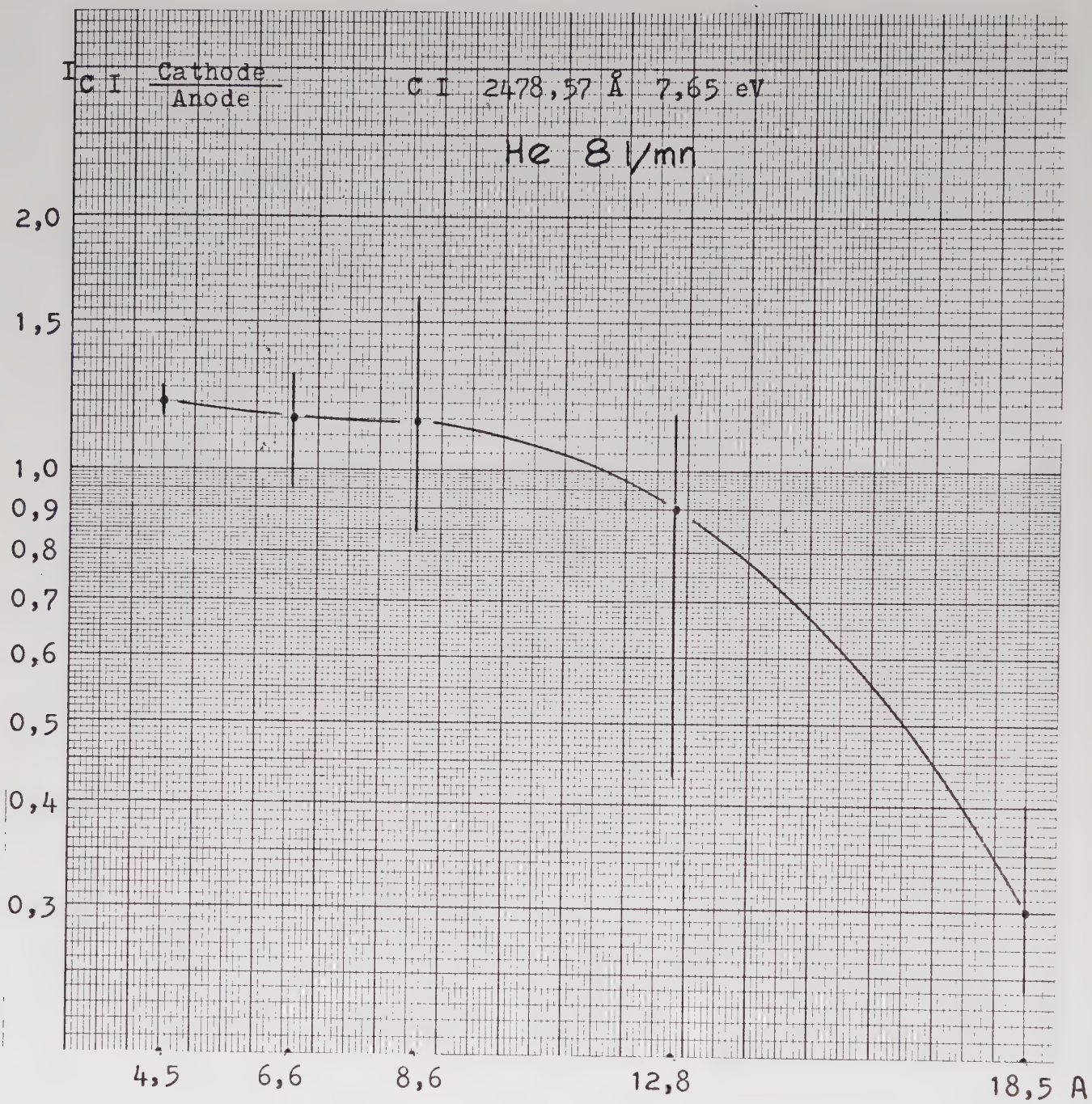
Etant donné deux lectures au densitomètre: D_a et D_b , la distance leur correspondant sur l'axe des abscisses représente, en coordonnées logarithmiques, la différence d'intensités lumineuses des deux raies, soit $\Delta \log I$. Si l'on mesure cette distance avec une règlette à graduations logarithmiques dont on fait coincider la valeur 1 avec l'intensité de la raie b, elle indique directement le rapport d'intensité I_a / I_b des deux raies.

Du fait que chaque spectre est reproduit 10 fois (sur 10 plaques différentes), chaque résultat numérique relevé dans les tableaux est ainsi la moyenne arithmétique de 10 mesures individuelles, soit $\bar{X}$.

Les variations de $\bar{X}$ (limites supérieures et inférieures) sont représentées sur les courbes par des barres d'erreurs.

Le coefficient de variation ou erreur quadratique moyenne relative de $\bar{X}$ est calculé selon la formule de la page 8.

Figure 1



Intensités (ampères)	I C I cathode/I C I anode			(+) %
	mini	moyenne	maxi	
4,5	1,16	1,20	1,26	2,8
6,6	0,95	1,15	1,30	8,7
8,6	0,84	1,14	1,60	17,0
12,8	0,43	0,90	1,16	20,0
18,5	0,24	0,31	0,40	14,0

(+) coefficient de variation ou erreur quadratique moyenne relative calculé selon la formule donnée à la page 8

PREMIERE PARTIE

" COMPARAISON ENTRE LES EMISSIONS CATHODIQUE ET ANODIQUES DES RAIES D'ATOMES NEUTRES ET IONISES DU CUIVRE (OU DU CARBONE)QUAND L'ELECTRODE EN CUIVRE EST CATHODIQUE(ANODE EN CARBONE)OU ANODIQUE (CATHODE EN CARBONE)D'UN PLASMA D'ARC A COURANT CONTINU ET EN ATMOSPHERES CONTROLEES ".

Couple d'électrodes: CUIVRE - CARBONE

Atmosphères : HELIUM - ARGON - AIR

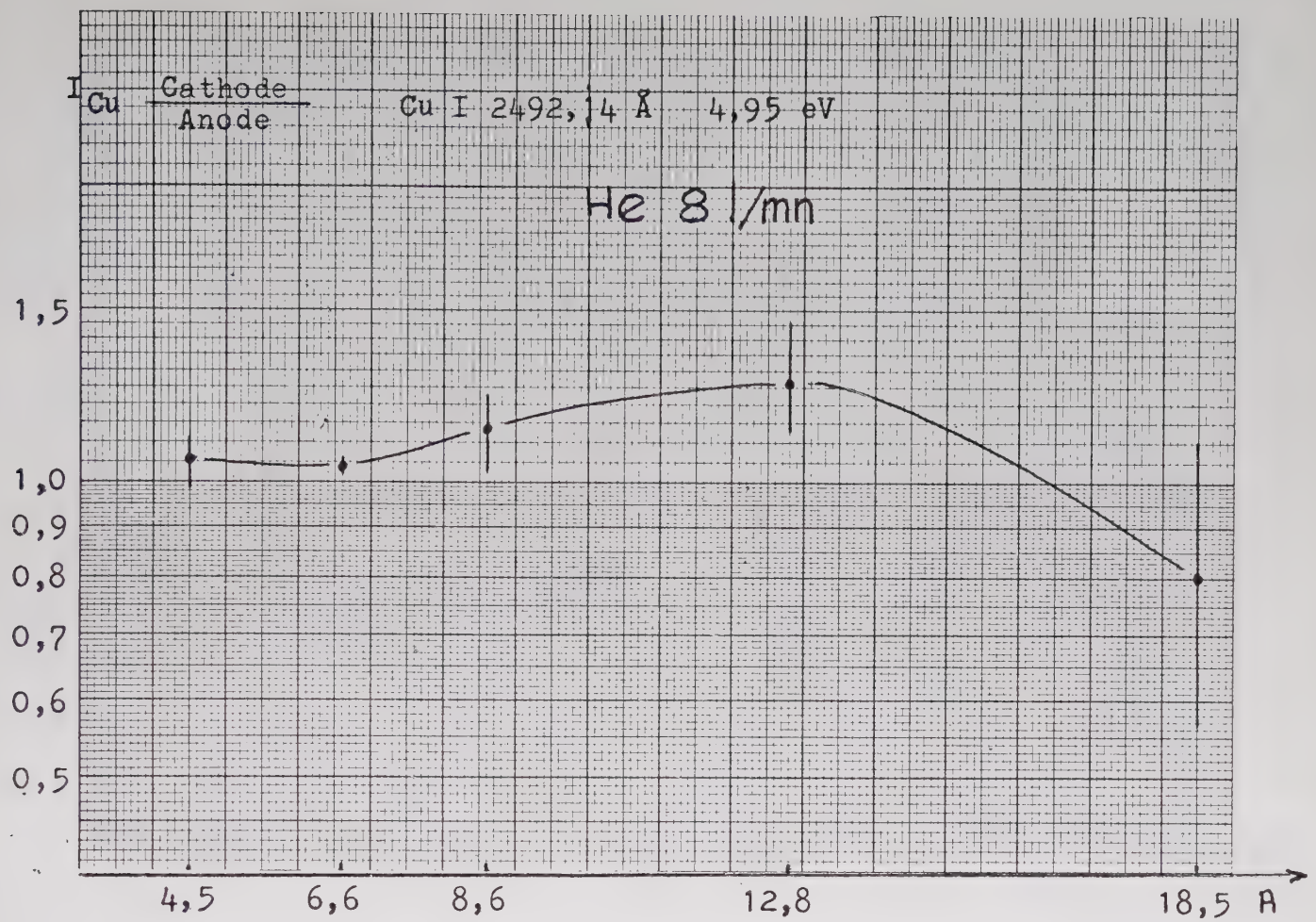
Intensités : 4,5 - 6,6 - 8,6 - 12,8 - 18,5 ampères

Les courbes sont tracées en portant les rapports logarithmiques des intensités spectrales en fonction des décharges utilisées: Elles représentent les différents rapports des intensités réciproques d'une même raie (λI ou II), pour des arcs de 4,5 à 18,5 ampères, lorsque cette raie est émise par l'anode ou par la cathode.

ATMOSPHERE HELIUM

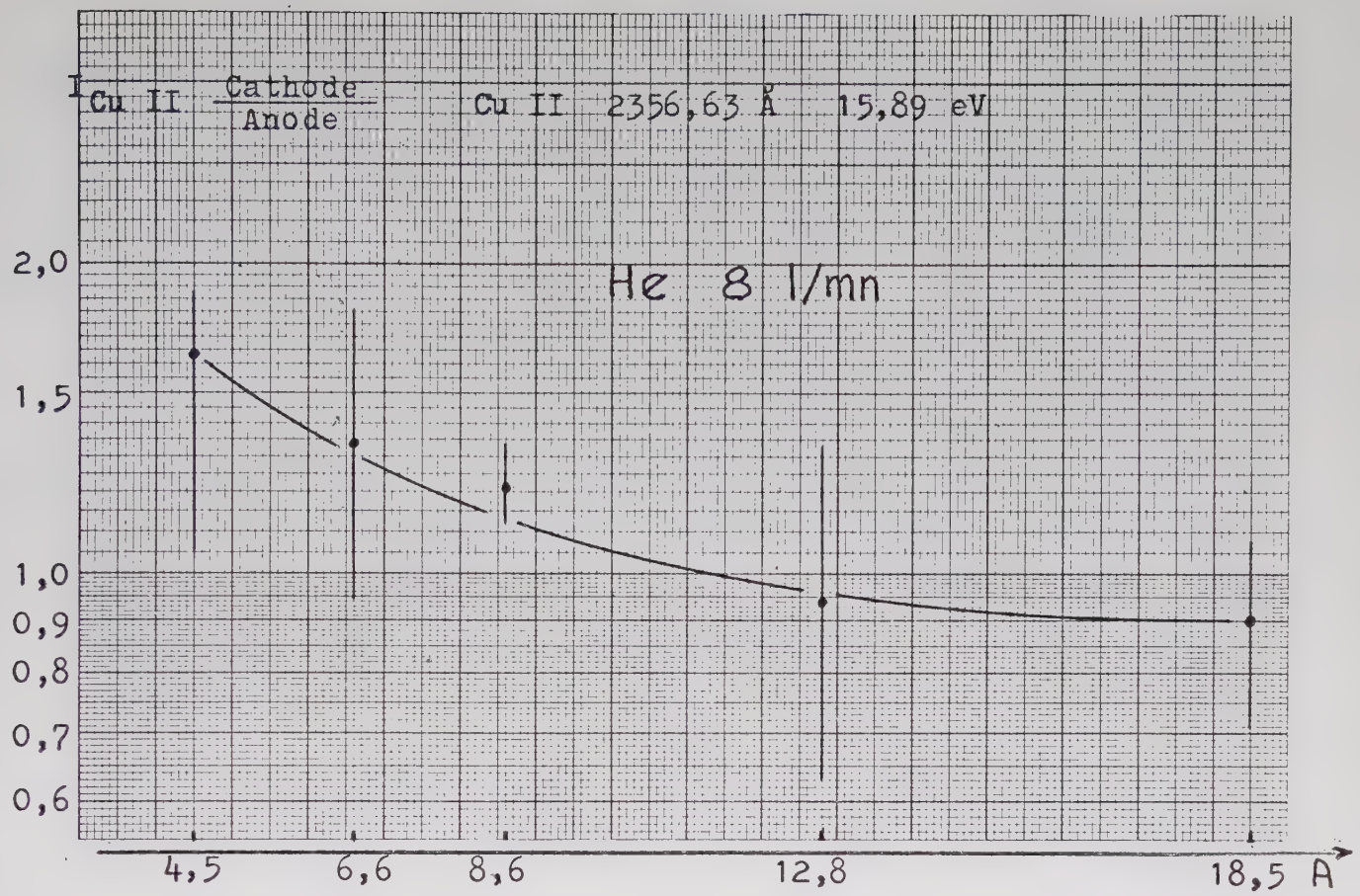
La figure 1 montre que, à pression constante d'hélium au débit de 8 l/mn, l'intensité de la raie du carbone neutre C I de 7,65 eV est plus importante lorsque l'électrode de carbone est à la polarité cathodique, avec des arcs de 4,5 à 12,8 A. Par contre, à 18,5 A, cette même raie est plus intense lorsque l'électrode de carbone est à la polarité anodique.

Figure 2



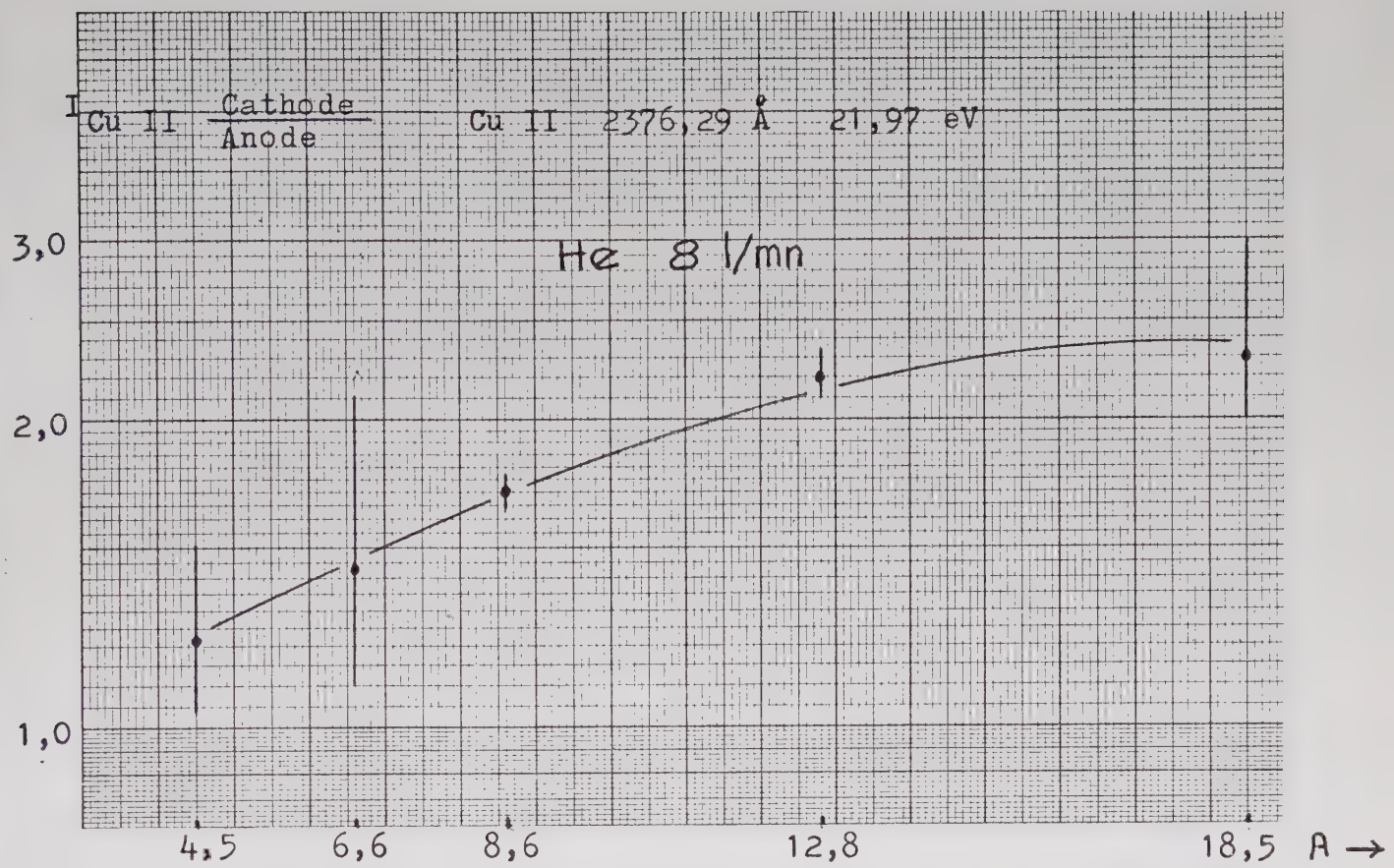
Intensités (ampères)	I Cu I cathode / I Cu I anode mini	moyenne	maxi	∇ %
4,5	0,98	1,06	1,14	4,1
6,6	1,02	1,04	1,07	1,5
8,6	1,02	1,13	1,23	4,8
12,8	1,12	1,26	1,45	7,6
18,5	0,56	0,80	1,10	17,3

Figure 3



Intensités (ampères)	I Cu II cathode / I Cu II anode			D %
	mini	moyenne	maxi	
4,5	1,05	1,63	1,88	13,0
6,6	0,94	1,33	1,80	18,0
8,6	1,12	1,21	1,33	5,3
12,8	0,63	0,94	1,33	21,2
18,5	0,70	0,90	1,08	10,8

Figure 4



Intensités (ampères)	I Cu II cathode / I Cu II anode mini	moyenne	maxi	∇ %
4,5	1,03	1,22	1,51	11,0
6,6	1,10	1,43	2,10	17,7
8,6	1,64	1,70	1,77	2,2
12,8	2,10	2,20	2,35	3,3
18,5	2,00	2,30	3,00	10,4

La figure 2 montre le cas d'une raie du cuivre neutre, Cu I de 5 eV.

De 4,5 à 12,8 A, l'intensité de cette raie est très importante lorsque le cuivre est à la polarité cathodique.

A 18,5 A, son intensité est par contre plus importante lorsque le cuivre est à la polarité anodique. (les raies Cu I de 5 à 7 eV ont la même allure de courbe).

La figure 3 montre le cas d'une raie du cuivre ionisé, Cu II de 16 eV. (cas général pour toutes les raies du cuivre d'environ 16 eV.)

L'émission anodique de cette raie ne devient importante qu'à 18,5 A. Tout comme pour les raies Cu I de 5 à 7 eV., pour les raies Cu II $\sim$ 16 eV., c'est l'émission cathodique qui prédomine avec les arcs d'intensités inférieures.

La figure 4 montre le cas d'une raie du cuivre ionisé, Cu II de 22 eV. (cas général pour toutes les raies du cuivre d'environ 20 eV.)

En ce qui concerne les raies Cu II, elles peuvent être classées en deux catégories distinctes:

- Cu II $\sim$ 16 eV.
- Cu II $\sim$ 20 eV.

Pour les raies de 16 eV., l'allure générale de leur courbe est la même, à savoir que l'émission cathodique est plus importante à 4,5 - 6,6 et 8,6 A. A 12,8 et 18,5 A., ces mêmes raies sont plus intenses lorsque le cuivre est mis à l'anode.

Pour les raies de 20 eV., quand le cuivre est cathodique, leurs intensités deviennent de plus en plus importantes avec l'augmentation des intensités de l'arc.

Il semble donc que l'émission cathodique pour le cuivre, en atmosphère hélium, est très importante en ce qui concerne les raies de l'ordre de 20 eV., quels que soient les intensités des décharges utilisées.

EN RESUME

Lorsque le cuivre est cathodique:

1) les intensités des raies d'ions Cu II de 22 eV. sont plus importantes par rapport à celles de ces mêmes raies quand le cuivre est anodique. Les intensités de cette catégorie de raies, Cu II de 22 eV., du cuivre cathodique, augmentent en fonction des intensités de plus en plus élevées de l'arc.

2) les intensités des raies d'ions Cu II de 16 eV., sont plus importantes par rapport à celles de ces mêmes raies quand le cuivre est anodique. Ceci à 4,5-6,6 et 8,6 A. Avec des arcs plus intenses: 12,8 et 18,5 A., les intensités de ces raies du cuivre deviennent plus importantes quand le cuivre est anodique.

3) les intensités des raies d'atomes neutres Cu I de 5 à 7 eV. sont plus importantes par rapport à celles de ces mêmes raies quand le cuivre est anodique. Ceci de 4,5 à 12,8 A. A 18,5 A., on observe la même inversion des rapports comme pour les raies Cu II de 16 eV.

4) aucune raie d'hélium, He I de 23 eV n'apparait.

Dans toutes les expériences effectuées, sauf la raie C I de 7,65 eV., à 2478,57 Å, aucune raie de carbone de hauts potentiels d'excitation n'apparait lorsque le carbone est à la polarité anodique. Par contre, lorsque le carbone est cathodique, toutes ses raies apparaissent. Les spectres montrent que l'intensité maximum de la raie C III de 53,49 eV à 2296,89 Å est obtenue avec un arc de 6,6 ampères, ainsi que les raies C II de 29,78 eV à 2509,11 - 2511,71 Å et C II de 29,77 eV à 2512,03 Å. Pour les raies C II de 27,46 eV à 2836,71 - 2837,60 Å ainsi que celles de C II de 31,95 eV à 2746,50 - 2747,31 Å, leurs intensités maximums sont obtenues avec un arc de 12,8 ampères.

Les raies C III, C II deviennent de plus en plus faibles, cependant que la raie C I de 7,65 eV à 2478,57 Å se renforce dans les arcs d'intensités élevées selon le schéma:

			Intensités spectrales à:
C III	2296,89 Å	de 53,49 eV	4,5 < <u>6,6</u> > 8,6 > 12,8 > 18,5 A.
C II	2509,11 2511,71	29,78	4,5 < <u>6,6</u> > 8,6 > 12,8 > 18,5
	2512,03	29,77	
C II	2746,50 2747,31	31,95	4,5 < 6,6 < 8,6 < <u>12,8</u> | 18,5 (absence des deux raies)
C II	2836,71 2837,60	27,46	4,5 < 6,6 < 8,6 < <u>12,8</u> > 18,5
C I	2478,57	7,65	4,5 < 6,6 < 8,6 < 12,8 < <u>18,5</u>

Les intensités soulignées sont celles où les raies considérées sont très fortes.

Dans tous les cas, à 18,5 ampères, ces raies d'ions sont très atténuées, ou disparaissent totalement tel le cas des raies C II (2746 et 2747 Å) alors que la raie C I à 2478 Å est à son intensité maximum.

De toutes les constatations précédentes, nous pouvons dresser un schéma d'ensemble comme suit, pour une décharge d'arc à courant continu en atmosphère hélium à 8 l/mn.

Couple CARBONE CATHODE - CUIVRE ANODE

		Intensités à:	
C III	53,49 eV	4,5 < 6,6 > 8,6 > 12,8 > 18,5 A	CARBONE CATHODE
C II	31,95	4,5 < 6,6 < 8,6 < 12,8 > 18,5	
C II	29,78	4,5 < 6,6 > 8,6 > 12,8 > 18,5	
C II	27,46	4,5 < 6,6 < 8,6 < 12,8 > 18,5	
C I	7,65	4,5 < 6,6 < 8,6 < 12,8 < 18,5	
Cu I	5 à 7	4,5 < 6,6 < 8,6 < 12,8 < 18,5	CUIVRE ANODE
Cu II	∼ 16	4,5 < 6,6 < 8,6 < 12,8 < 18,5	
Cu II	∼ 22	4,5 < 6,6 < 8,6 < 12,8 > 18,5	

De ce schéma se remarquent 3 colonnes distinctes:

Intensités spectrales à 6,6 ampères
" " 12,8 "
" " 18,5 "

a)- 6,6 ampères: fortes intensités des raies de hauts potentiels d'excitation C III 53,49 eV et C II 29,78 eV. Les raies C II 31,95 eV, C II 27,46 eV et C I 7,65 eV du carbone cathodique apparaissent normalement de façon non excessive, de même que les raies du cuivre anodique Cu I de 5 à 7 eV, Cu II ∼ 16 eV et Cu II ∼ 22 eV.

b)- 12,8 ampères: les intensités des raies du carbone cathodique C II 27,46 eV et C II 31,95 eV sont maximums. Les raies C III 53,49 eV et C II 29,78 eV sont moins intenses qu'à 6,6 A. Quant aux raies du cuivre anodique, Cu II ∼ 16 et ∼ 22 eV, elles sont également très intenses.

c)- 18,5 ampères: la raie C I 7,65 eV et très intense. Les raies C III 53,49 eV et C II 29,78-27,46 eV sont très faibles. Quant aux raies C II 31,95 eV, elles ne sont plus visibles.

Les raies du cuivre anodique, Cu I de 5 à 7 eV et Cu II $\sim$16 eV sont très intenses cependant que les raies Cu II $\sim$22 eV sont moins intenses qu'à 12,8 ampères.

Couple CARBONE ANODE - CUIVRE CATHODE

C I	7,65 eV	4,5 < 6,6 < 8,6 < 12,8 < 18,5 A.	CARBONE ANODE
Cu I	5 à 7	4,5 < 6,6 < 8,6 < 12,8 < 18,5	CUIVRE CATHODE
Cu II	16	4,5 < 6,6 < 8,6 < 12,8 < 18,5	
Cu II	22	4,5 < 6,6 < 8,6 < 12,8 = 18,5	

18,5 ampères: on observe une intensité maximale pour toutes les raies, aussi bien C I de 7,65 eV, Cu I de 5 à 7 eV que Cu II $\sim$16 eV. Pour les raies Cu II $\sim$22 eV, leurs intensités maximums se retrouvent également avec l'arc à 12,8 ampères, avec une légère prédominance pour ce dernier.

Dans aucun cas, on n'a observé l'apparition des raies C III ou C II du carbone.

REMARQUE:

Dans le cas du CARBONE CATHODIQUE, avec l'apparition des raies de hauts potentiels d'excitation C III et C II (54 et 30eV) apparaissent également les raies d'hélium, He I de 23 eV ainsi que les raies du cuivre anodique Cu I de 5 à 7 eV et Cu II de 16 à 22 eV.

Dans le cas du CUIVRE CATHODIQUE, aucune raie d'hélium ni de carbone ionisé n'a pu être observée.

Figure 5

Intensités (ampères)	I C I cathode / I mini	moyenne	C I anode maxi	∇ %
4,5	1,10	1,15	1,26	5,7
6,6	1,45	1,55	1,71	5,5
8,6	2,10	2,33	2,65	6,3
12,8	8,70	10,24	11,56	6,6
18,5	36,20	38,00	40,00	2,8

Figure 5

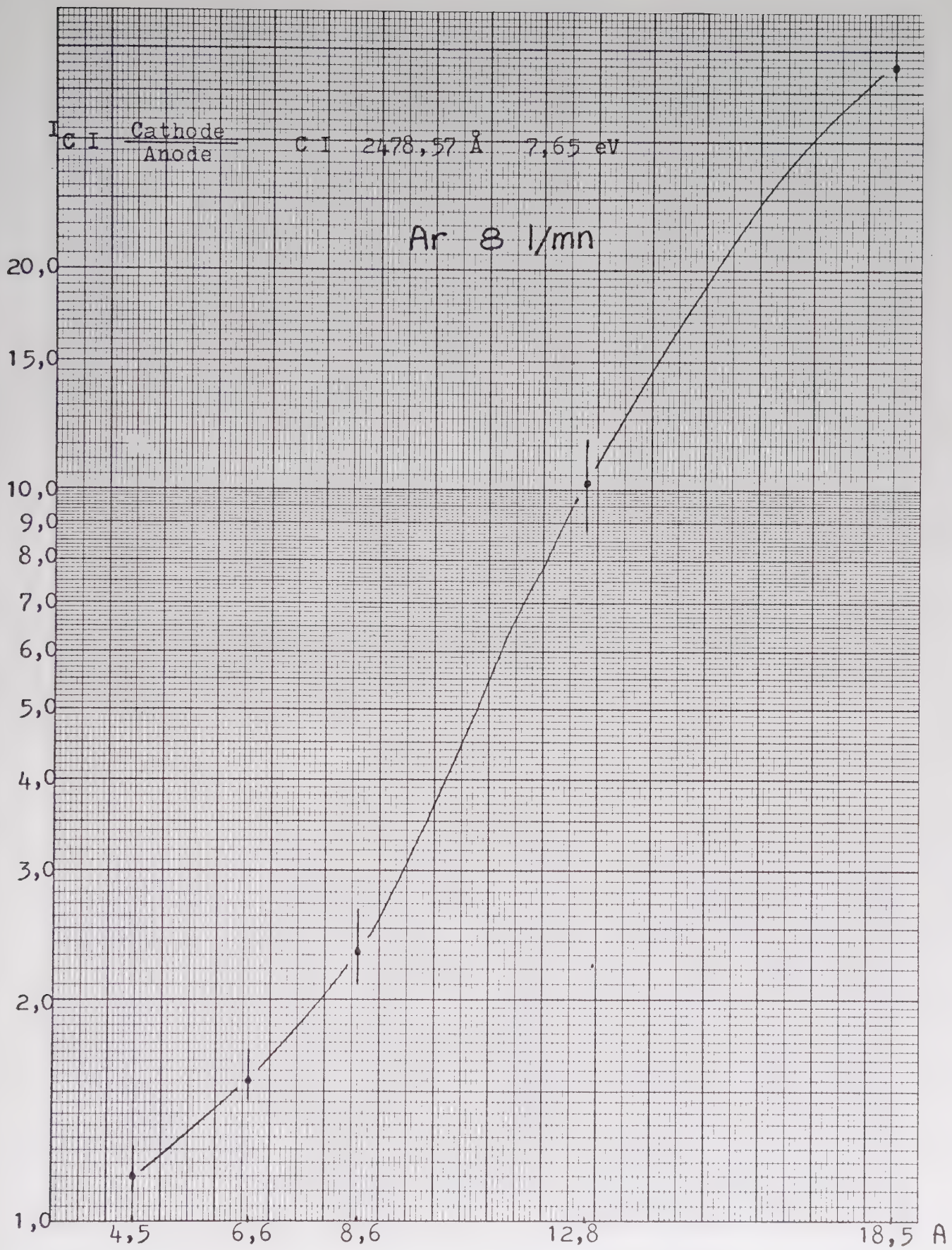
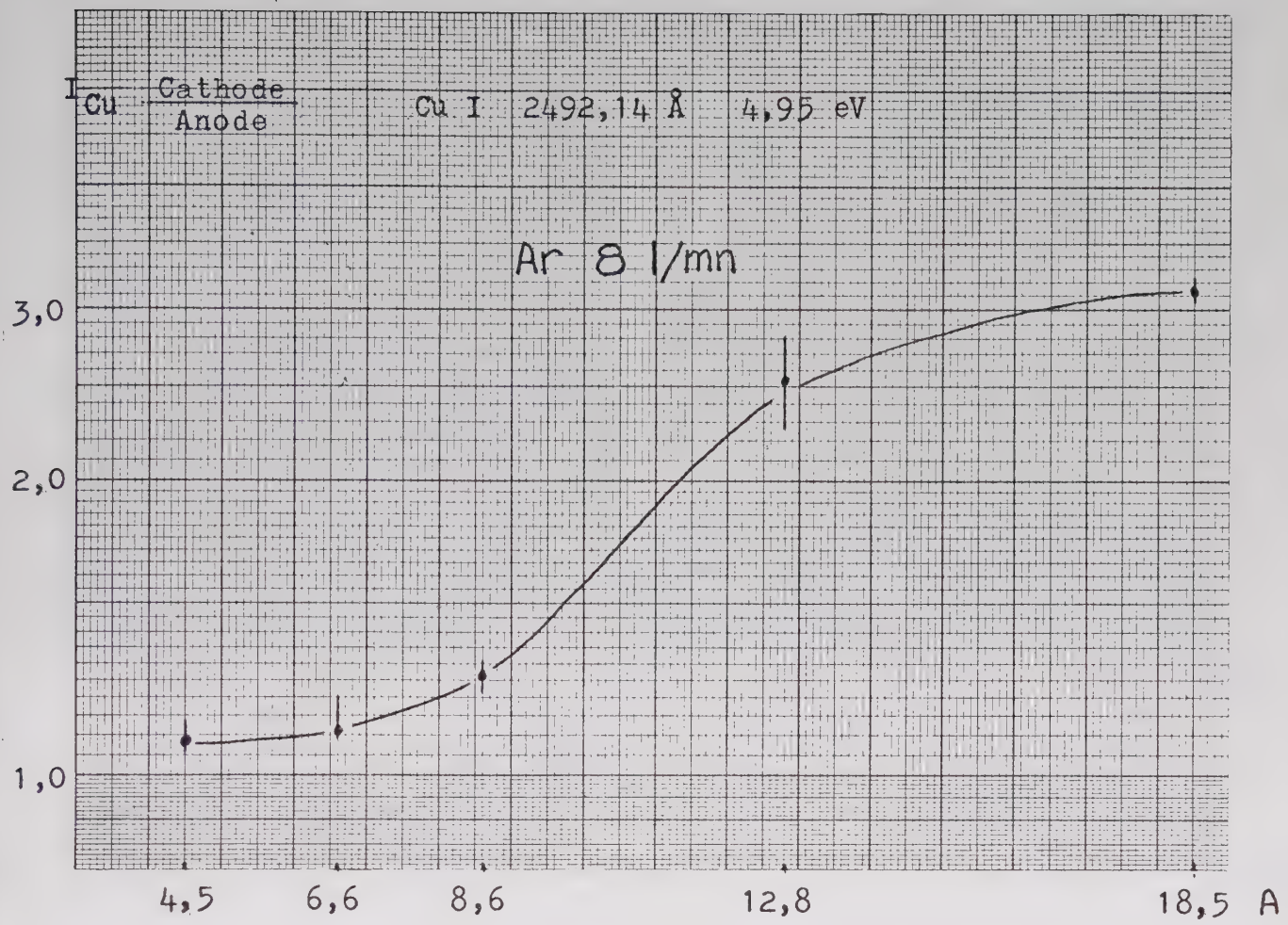
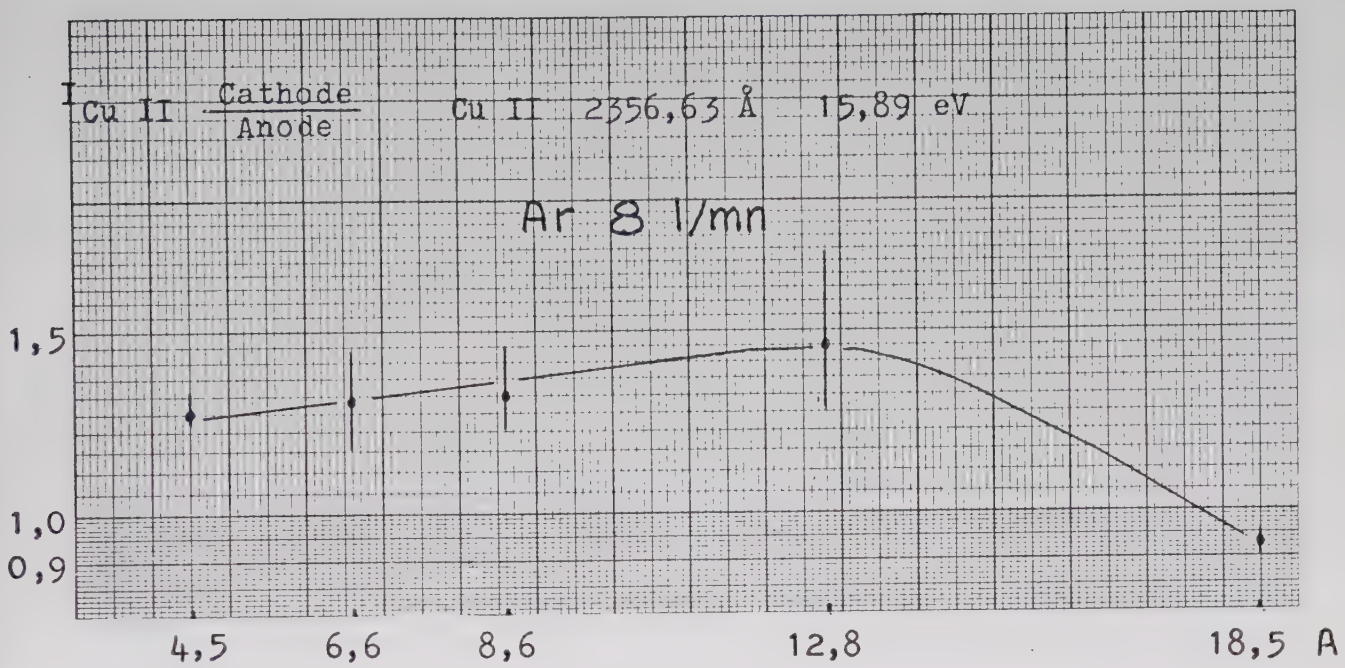

I
C I Cathode / Anode
C I 2478,57 Å 7,65 eV
Ar 8 l/mn
20,0
15,0
10,0
9,0
8,0
7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
4,5
6,6
8,6
12,8
18,5 A

Figure 6



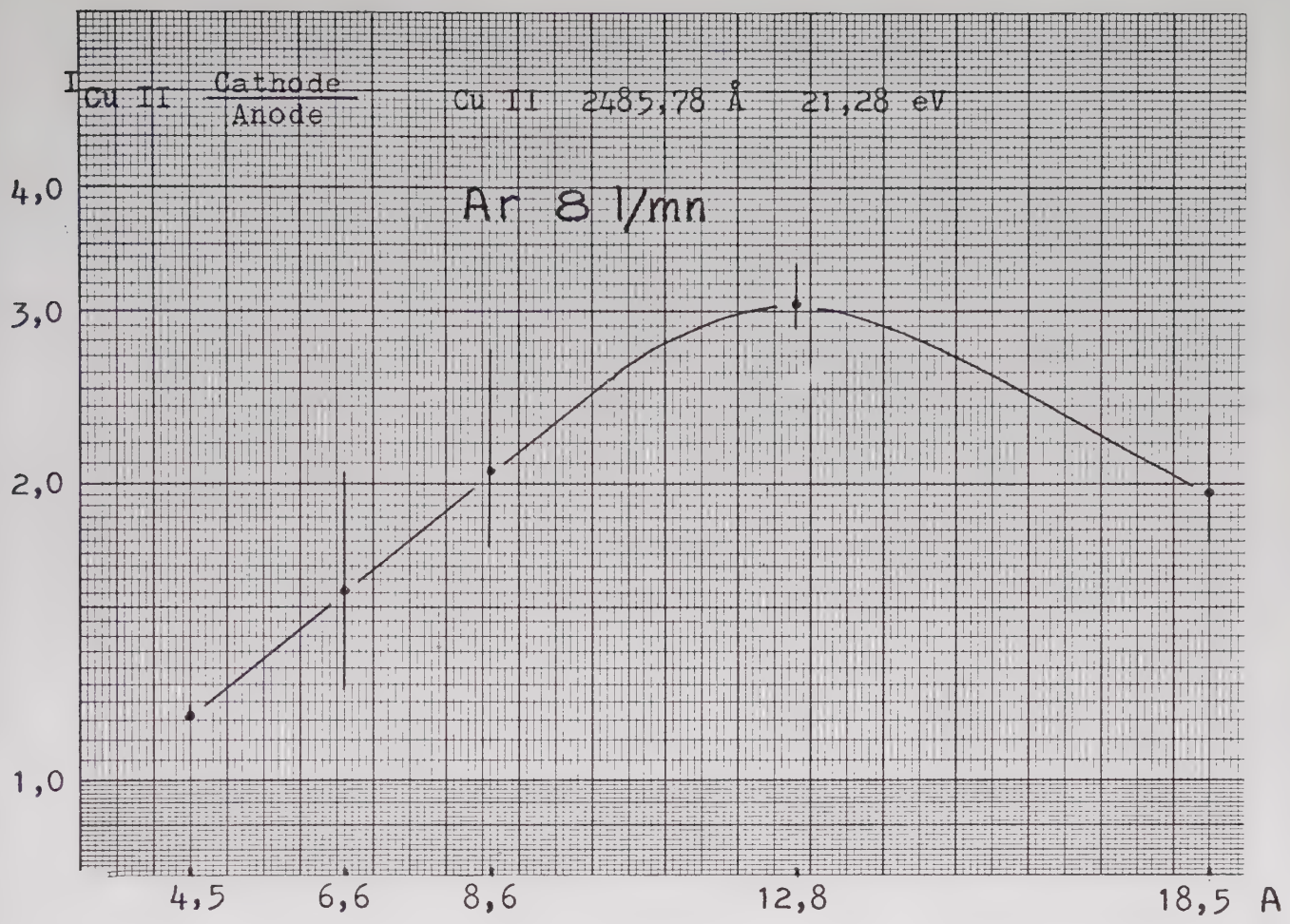
Intensités (ampères)	I Cu I cathode / I Cu I anode			D %
	mini	moyenne	maxi	
4,5	1,05	1,08	1,14	2,3
6,6	1,09	1,12	1,20	2,9
8,6	1,21	1,27	1,31	2,3
12,8	2,26	2,54	2,80	5,5
18,5	3,05	3,13	3,25	1,6

Figure 7



Intensités (ampères)	I Cu II cathode / I Cu II anode			D %
	mini	moyenne	maxi	
4,5	1,22	1,25	1,31	2,6
6,6	1,15	1,28	1,44	6,2
8,6	1,20	1,30	1,45	5,6
12,8	1,25	1,45	1,78	9,5
18,5	0,90	0,93	0,95	1,7

Figure 8



Intensités (ampères)	I Cu II cathode / I Cu II anode			D %
	mini	moyenne	maxi	
4,5	1,15	1,17	1,19	1,2
6,6	1,23	1,57	2,05	12,6
8,6	1,72	2,07	2,73	13,3
12,8	2,89	3,04	3,35	3,9
18,5	1,73	1,96	2,37	8,8

ATMOSPHERE ARGON

La figure 5 montre une émission intense du carbone C I de 7,65 eV lorsque le carbone est cathodique, l'intensité de cette raie augmente en fonction de l'intensité de plus en plus élevée de l'arc. L'étude des spectres montre que: l'intensité de la raie C I ne varie pas ou peu lorsque le carbone est anodique. Ainsi, la pente de la courbe obtenue est uniquement la conséquence de l'intensité de plus en plus importante de cette raie quand le carbone est cathodique.

Les figures 6, 7 et 8 montrent également que les intensités des raies du cuivre cathodique, Cu I de 5 à 7 eV et Cu II de 16 à 21 eV sont très importantes.

La figure 7 montre qu'à 18,5 ampères, les intensités des raies Cu II $\sim$ 15 eV du cuivre anodique sont devenues plus importantes, d'où le fléchissement de la courbe à cette valeur de l'arc. Les intensités de ces mêmes raies sont cependant très importantes quand le cuivre est cathodique. Par contre, en ce qui concerne les raies Cu II $\sim$ 21 eV (fig. 8), le fléchissement de la courbe est dû à une diminution des intensités de ces raies à 18,5 ampères, quand le cuivre est cathodique.

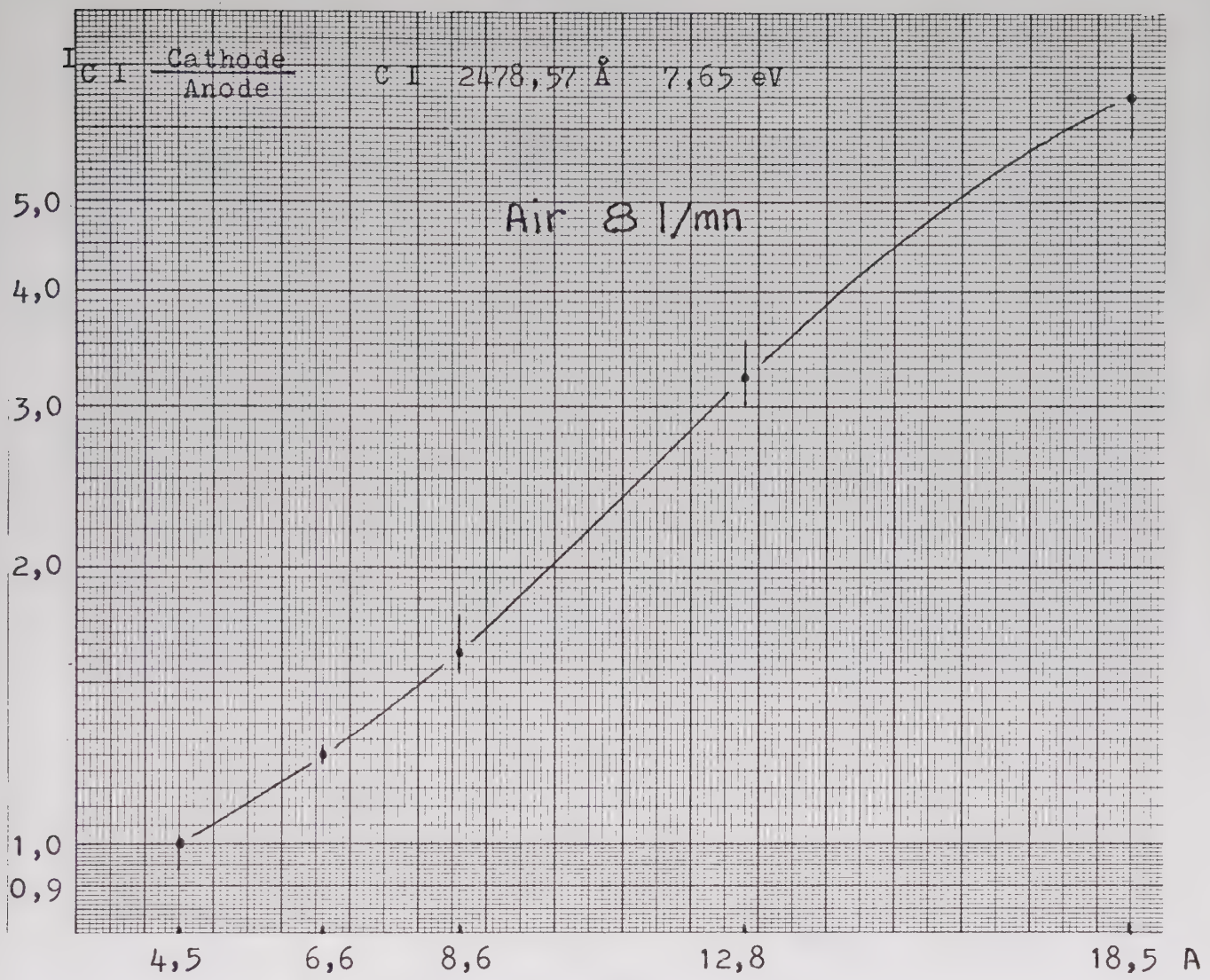
On observe à 4,5 ampères, une faible apparition de la raie C III de 54 eV du carbone, quand le carbone est cathodique. Cette raie est accompagnée par des raies C II de 30 eV, d'argon ionisé Ar II et du cuivre anodique Cu I et II.

Quand le cuivre est cathodique, quelle que soit l'intensité de l'arc utilisé, on n'observe que des raies Cu I et II, Ar I et C I mais jamais C III ni C II.

REMARQUE:

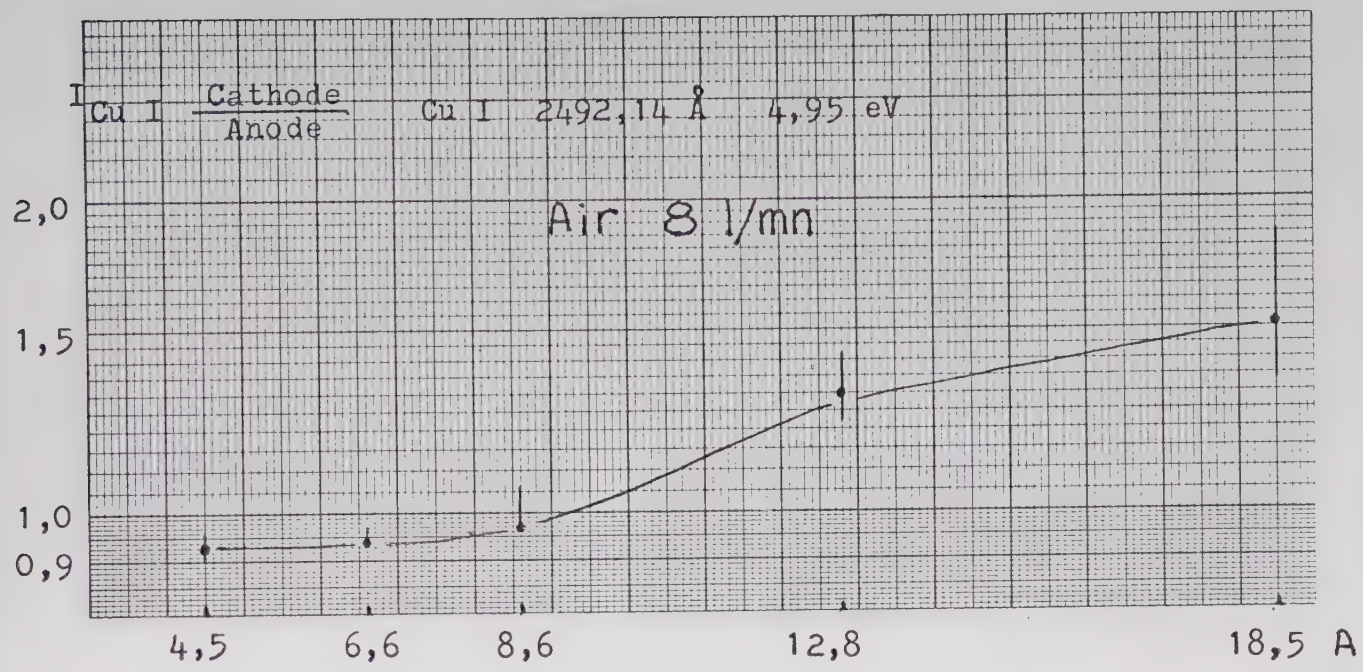
Les intensités des raies de hauts potentiels d'excitation des éléments de la cathode diminuent au fur et à mesure de l'augmentation de l'intensité de la décharge, en faveur d'une émission plus intense des raies I et II, cathodiques, de faibles potentiels d'excitation, puis anodique. De 4,5 à 12,8 ampères, les intensités spectrales des raies cathodiques sont toujours très importantes, surtout celles des raies de hauts potentiels d'excitation.(même phénomène qu'en atmosphère hélium.)

Figure 9



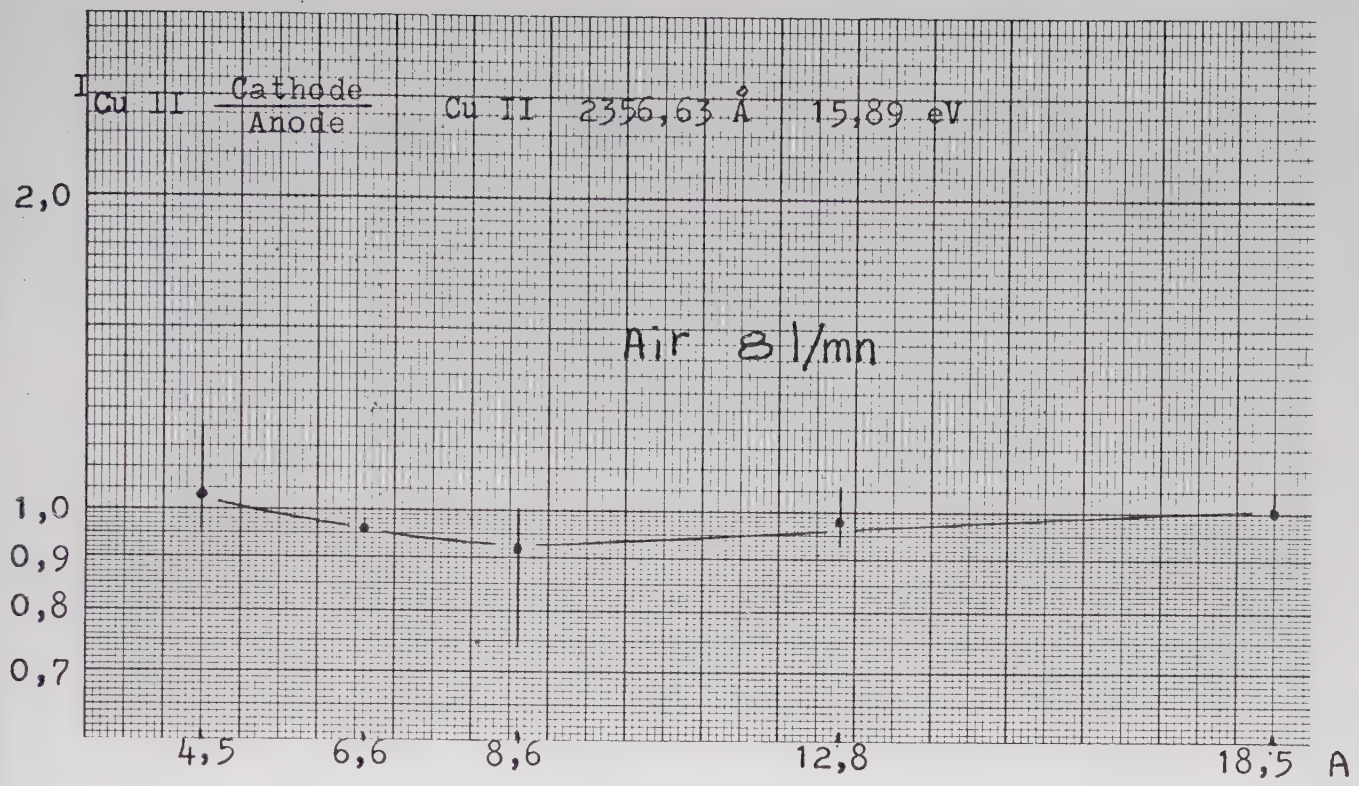
Intensités (ampères)	I C I cathode / I C I anode			∇ %
	mini	moyenne	maxi	
4,5	0,93	1,00	1,02	3,28
6,6	1,22	1,25	1,27	1,4
8,6	1,53	1,61	1,78	5,4
12,8	3,00	3,24	3,54	4,3
18,5	5,82	6,50	7,60	7,2

Figure 10



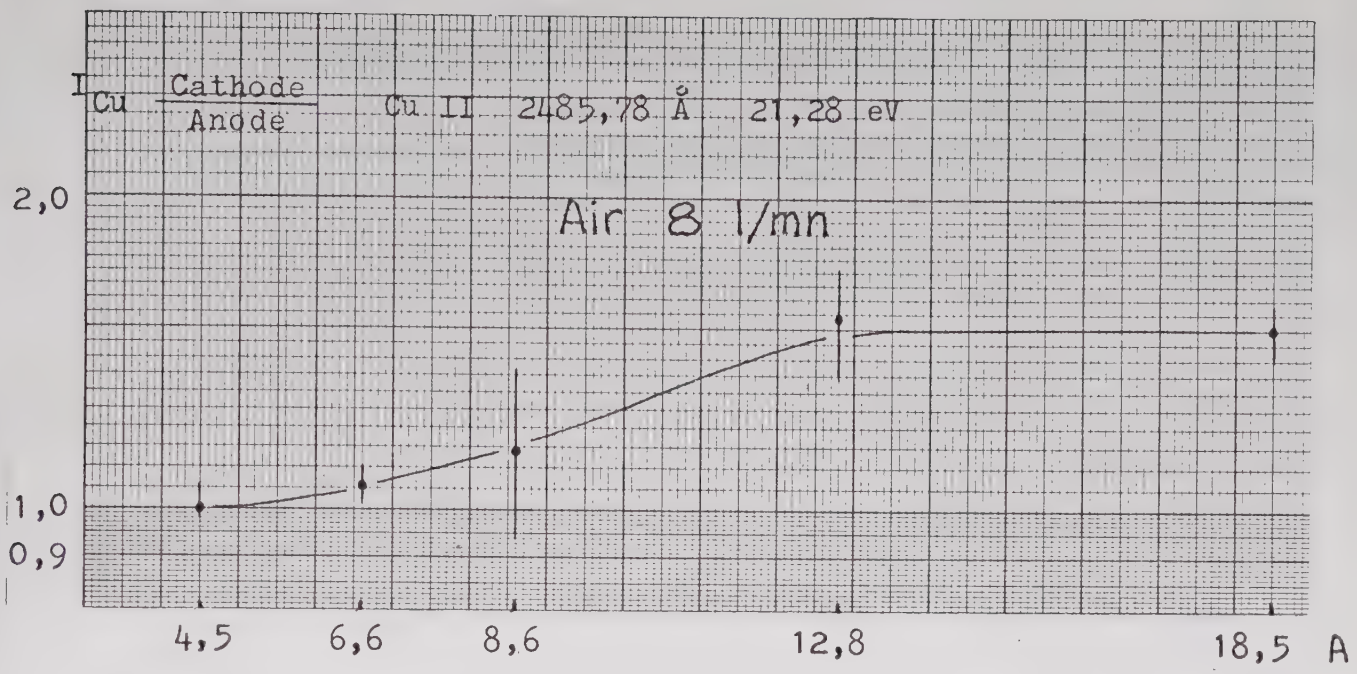
Intensités (ampères)	I Cu I cathode / I Cu I anode mini	moyenne	maxi	D %
4,5	0,90	0,93	0,96	2,1
6,6	0,93	0,94	0,97	1,6
8,6	0,96	0,97	1,07	3,8
12,8	1,21	1,30	1,43	4,3
18,5	1,33	1,52	1,85	8,8

Figure 11



Intensités (ampères)	I Cu II cathode / I Cu II anode			∇ %
	mini	moyenne	maxi	
4,5	0,95	1,03	1,20	7,3
6,6	0,95	0,96	0,98	1,4
8,6	0,74	0,92	1,00	8,9
12,8	0,93	0,98	1,06	4,0
18,5	1,00	1,01	1,05	2,2

Figure 12



Intensités (ampères)	I Cu II cathode / I Cu II anode			∇ %
	mini	moyenne	maxi	
4,5	0,98	1,00	1,07	2,8
6,6	1,01	1,06	1,10	2,7
8,6	0,94	1,14	1,36	10,2
12,8	1,33	1,53	1,70	6,0
18,5	1,40	1,50	1,59	3,4

ATMOSPHERE AIR

La figure 9 montre que l'intensité de la raie C I de 7,65eV est plus importante quand le carbone est cathodique. La pente de la courbe obtenue est la conséquence d'une diminution de l'intensité de cette raie lorsque le carbone est anodique, concurremment à une augmentation de son intensité quand le carbone est cathodique, en fonction de l'augmentation des intensités de l'arc.

Tout comme dans les expériences en atmosphères hélium et argon, les expériences effectuées en atmosphère air montrent que les intensités des raies des éléments de la cathode sont très importantes, notamment pour les raies d'ions de hauts potentiels d'excitation.

Pour les raies Cu II $\sim$ 16 eV, l'augmentation de leurs intensités cathodiques et anodiques est presque équivalente quelle que soit l'intensité de l'arc. Pour les raies Cu II $\sim$ 21 eV, leurs intensités ne sont importantes que lorsqu'elles sont émises par la cathode.

A 18,5 ampères, différant des atmosphères hélium ou argon, en atmosphère air, on n'observe pas de diminution des intensités des raies cathodiques de hauts potentiels d'excitation (cas du Cu II quand le cuivre est cathodique).

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

L'ensemble des résultats obtenus à partir des expériences effectuées avec le couple CARBONE / CUIVRE alternativement ANODE et CATHODE

- sous différentes atmosphères: HELIUM, ARGON, AIR au débit constant de 8 l/mn.
- avec des arcs de longueur 3 mm, à pression 1 atm. et d'intensités: 4,5 - 6,6 - 8,6 - 12,8 et 18,5 ampères

montre que l'émission cathodique est toujours plus importante que l'émission anodique, quel que soit le gaz ou quelles que soient les intensités des arcs utilisés. Ceci notamment pour les raies de hauts potentiels d'excitation.

DEUXIEME PARTIE

" EXPLORATION DES ZONES CATHODIQUES ET ANODIQUES DE L'ARC EN ATMOSPHERES CONTROLEES."

Couple d'électrodes: CUIVRE - CARBONE
Atmosphères : HELIUM - ARGON - AIR
Intensités : 6,6 ampères

Les résultats obtenus dans la première partie de ce travail (confirmés et contrôlés par ceux des couples aluminium / carbone et argent / carbone), sont représentatifs de la totalité de la colonne de décharge, intégrant la zone cathodique et la zone anodique.

Dans cette deuxième partie, seule la zone cathodique ou la zone anodique est focalisée sur la fente du spectrographe par un système de diaphragme approprié, afin de pouvoir comparer entre elles, les émissions spectrales dans chaque zone et de déterminer la zone exacte des émissions des raies I et II.

Nous avons vu également que les arcs de 4,5 à 8,6 ampères semblent favoriser l'émission des raies de potentiels d'excitation les plus élevés de l'élément cathodique, en conséquence, nous avons choisi pour les expériences suivantes:

UN ARC DE 6,6 AMPERES DE LONGUEUR 3 mm . LE DEBIT GAZEUX EST DE 8 l/mn POUR HELIUM, ARGON OU AIR.

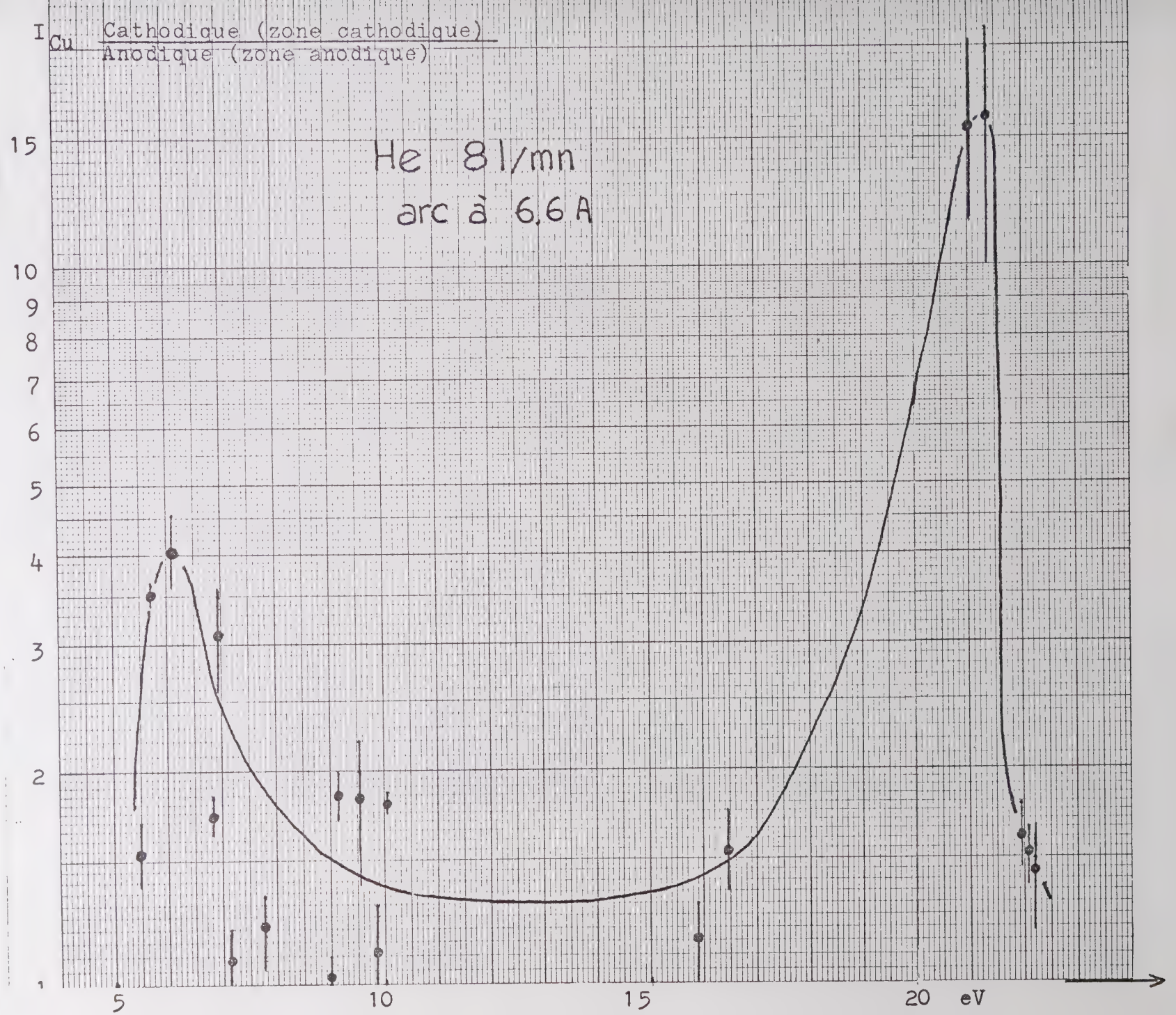

I Cu
Cathodique (zone cathodique)
Anodique (zone anodique)
He 8 l/mn
arc à 6,6 A
15
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
5
10
15
20
eV

Figure 13

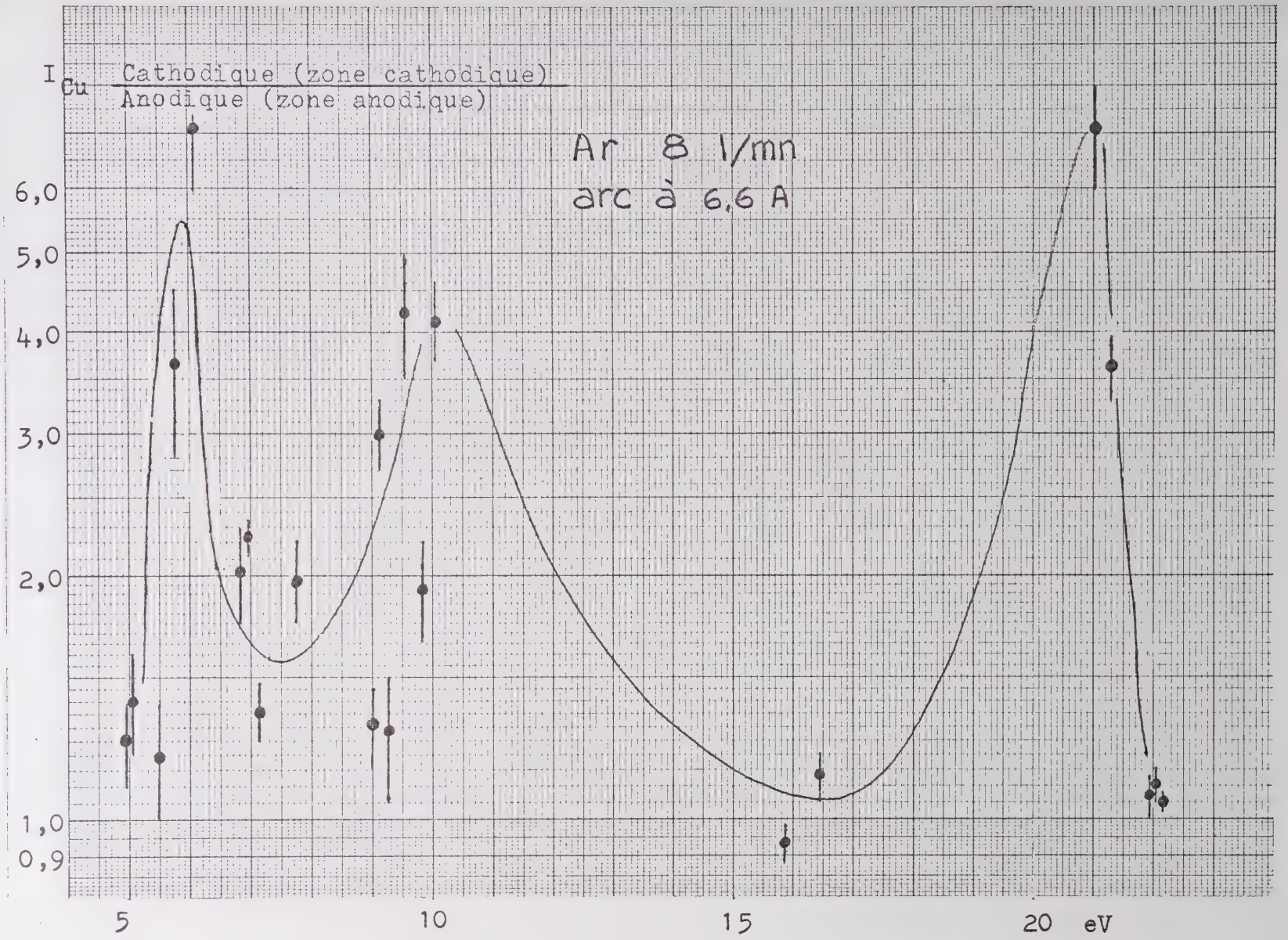

I Cu Cathodique (zone cathodique) / Anodique (zone anodique)
Ar 8 l/mn
arc à 6,6 A
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,9
5
10
15
20 eV

Figure 14

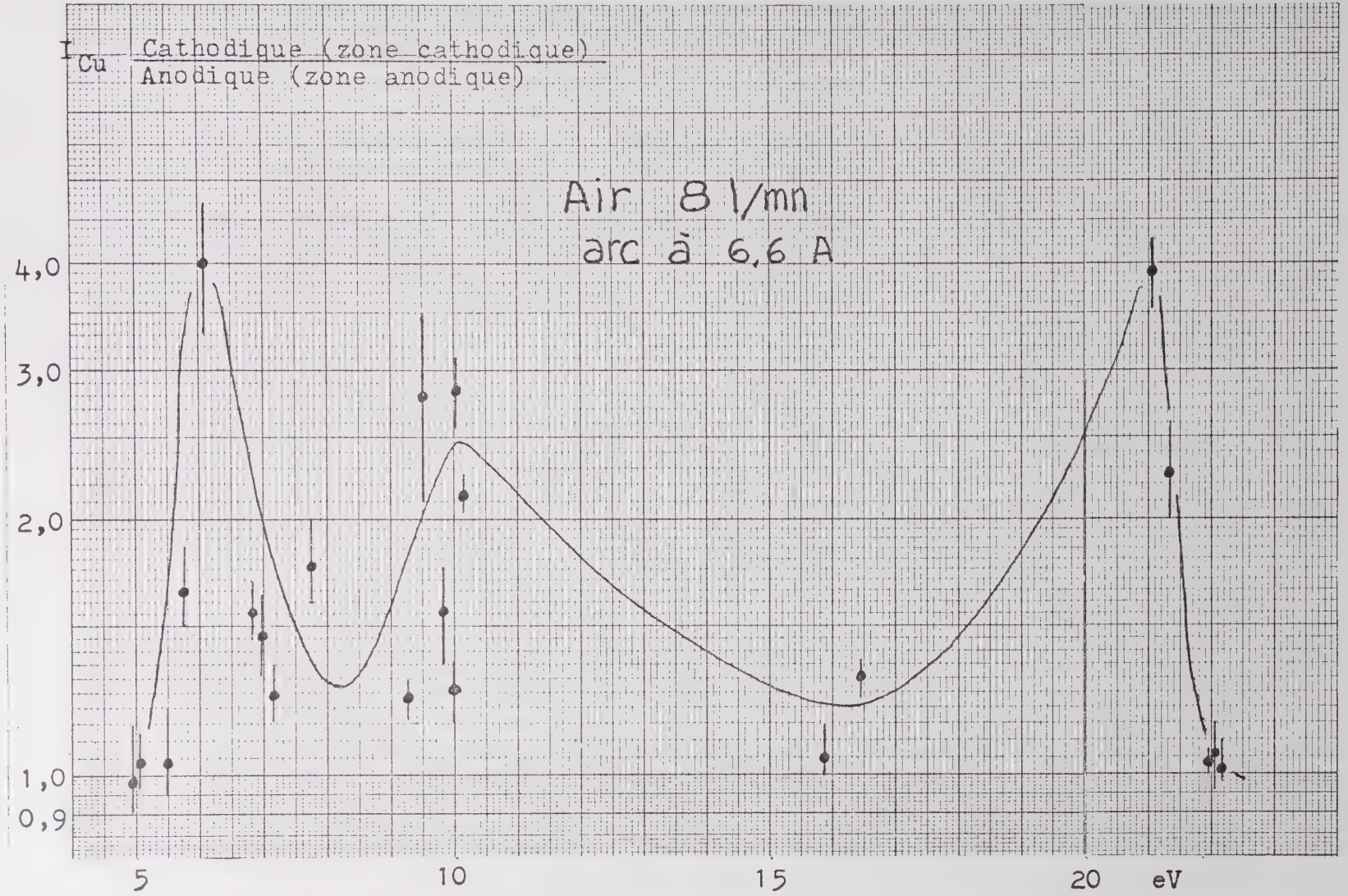

I_{Cu} Cathodique (zone cathodique) / Anodique (zone anodique)
Air 8 l/mn
arc à 6,6 A
4,0
3,0
2,0
1,0
0,9
5
10
15
20
eV

Figure 15

Pour chaque gaz particulier: HELIUM - ARGON et AIR

A)- Une série de spectres de la zone cathodique, avec une cathode en cuivre (anode en carbone) a été enregistrée.

B)- Dans les mêmes conditions de débit gazeux et d'arc à 6,6 A, une série de spectres de la zone anodique, avec une anode en cuivre (cathode en carbone) a également été enregistrée.

Les 2 séries (A) et (B) sont comparées entre elles et les différents rapports logarithmiques des intensités:

$$\log \left(\frac{I\,\lambda \text{ Cu cathodique, zone cathodique}}{I\,\lambda \text{ Cu anodique, zone anodique}} \right)$$

sont relevés au tableau ci-dessous et représentés par les courbes 13, 14 et 15

			ATMOSPHERES		
λ CUIVRE(°)	eV(°)	HELIUM(+)	ARGON(+)	AIR(+)
I 2236,27	7,15	1,08	1,36	1,24
II 2242,61	16,44	1,54	1,14	1,31
I 2244,26	5,50	1,53	1,20	1,04
II 2246,99	15,89	1,16	0,94	1,05
II 2248,96	22,06	1,53	1,11	1,06
I 2260,52	6,84	1,73	2,02	1,56
II 2286,64	21,97	1,60	1,08	1,03
II 2290,99	22,16	1,44	1,05	1,02
I 2303,11	6,99	3,04	2,25	1,47
I 2441,63	5,05	(-)	1,40	1,04
I 2492,14	4,95	(-)	1,25	0,99
II 2506,27	21,06	15,50	7,22	3,95
II 2529,30	21,31	15,20	3,71	2,28
I 2579,29	9,84	1,12	1,94	1,56
I 2618,36	6,10	4,05	7,10	4,00
I 2630,00	9,51	1,83	4,23	2,79
I 2720,19	7,76	1,22	1,98	1,71
I 2751,81	10,04	1,83	4,12	2,88
I 2824,37	5,75	3,51	3,66	1,65
I 2851,74	9,28	(-)	1,29	1,24
I 2858,22	9,13	1,85	3,00	2,15
I 2833,06	9,02	1,02	1,32	1,27

(°) N.B.S. Circular 488

(+) valeurs moyennes de dix mesures. Les maximums et minimums sont indiqués sur les courbes par des barres d'erreurs.

(-) raies invisibles quand le cuivre est anodique. (en atmosphère hélium)

Les valeurs relevées au tableau et les courbes semblent montrer que:

EN ATMOSPHERE HELIUM

°) Pour les raies du cuivre de bas potentiels d'excitation, leurs intensités sont faibles quand le cuivre est cathodique. Cependant quand le cuivre est anodique, les intensités de ces mêmes raies sont à la limite des mesures densitométriques(transmissions voisines de 80 pour cent), ce qui explique que les rapports des intensités sont toujours supérieurs à 1.

°) Pour les raies du cuivre de **hauts** potentiels d'excitation:

15 à 16 eV, leurs intensités sont très importantes quand le cuivre est cathodique. Quand le cuivre est anodique, ces mêmes raies sont également très intenses, leurs intensités sont presque équivalentes à celles obtenues lorsque le cuivre est cathodique. Les rapports sont ainsi supérieurs à 1.

$\sim$ 20 eV, elles sont très intenses quand le cuivre est cathodique et également quand le cuivre est anodique. Cependant, quand le cuivre est cathodique, leurs intensités sont nettement plus importantes que quand le cuivre est anodique: d'où le pic à 21 eV.

$\sim$ 22 eV, elles sont peu intenses aussi bien quand elles sont cathodiques que quand elles sont anodiques. Leurs intensités sont assez voisines et nous retrouvons des rapports à peine supérieurs à 1.

EN ATMOSPHERES ARGON, AIR

Les émissions effectuées sous atmosphères argon ou air donnent des courbes sensiblement analogues à celle obtenue sous atmosphère hélium. Cependant, on observe une tendance à l'augmentation des intensités des raies de bas potentiels d'excitation et à une diminution des intensités des raies de hauts potentiels d'excitation (aussi bien pour le cuivre mis à la cathode que pour le cuivre mis à l'anode) ou inversement selon:

Intensité Cu II hélium $>$ argon $>$ air

Intensité Cu I hélium $<$ argon $<$ air

TABLEAU I

ZONE CATHODIQUE

"Exploration de la POINTE de la CATHODE"

Cathode : CUIVRE
Anode : CARBONE

$$\log \frac{\text{Intensité dans l'Hélium}}{\text{Intensité dans l'Argon}}$$

$$\log \frac{\text{Intensité dans l'Argon}}{\text{Intensité dans l'Air sec}}$$

	λ CUIVRE (*)	eV (*)	I_{He} / I_{Ar} (+)	$I_{Ar} / I_{Air\ sec}$ (+)
I	2236,27	7,15	0,76	0,99
II	2242,61	16,44	2,16	1,28
I	2244,26	5,50	0,71	1,16
II	2246,99	15,89	2,26	1,33
II	2248,96	22,06	1,74	1,04
I	2260,52	6,84	0,65	1,04
II	2286,64	21,97	1,87	1,05
II	2290,99	22,16	1,68	1,03
I	2303,11	6,99	0.51	1,23
I	2441,63	5,05	-	1,24
I	2492,14	4,95	-	1,37
II	2506,27	21,06	14,80	2,70
II	2529,30	21,31	9,40	2,03
I	2579,29	9,84	0,55	1,08
I	2618,36	6,10	0,19	1,15
I	2630,00	9,51	0,36	1,10
I	2720,19	7,76	0,60	1,03
I	2751,81	10,04	0,40	1,08
I	2824,37	5,75	0,28	1,52
I	2851,74	9,28	0,77	0,97
I	2858,22	9,13	0,51	1,05
I	2933,06	9,02	0,78	0,96

(*) N.B.S. Circular 488, Section 1-2-3

(+) valeurs moyennes obtenues à partir de dix mesures comme indiqué à la page 12. Les maximums et minimums sont portés sur les courbes

Figure 16

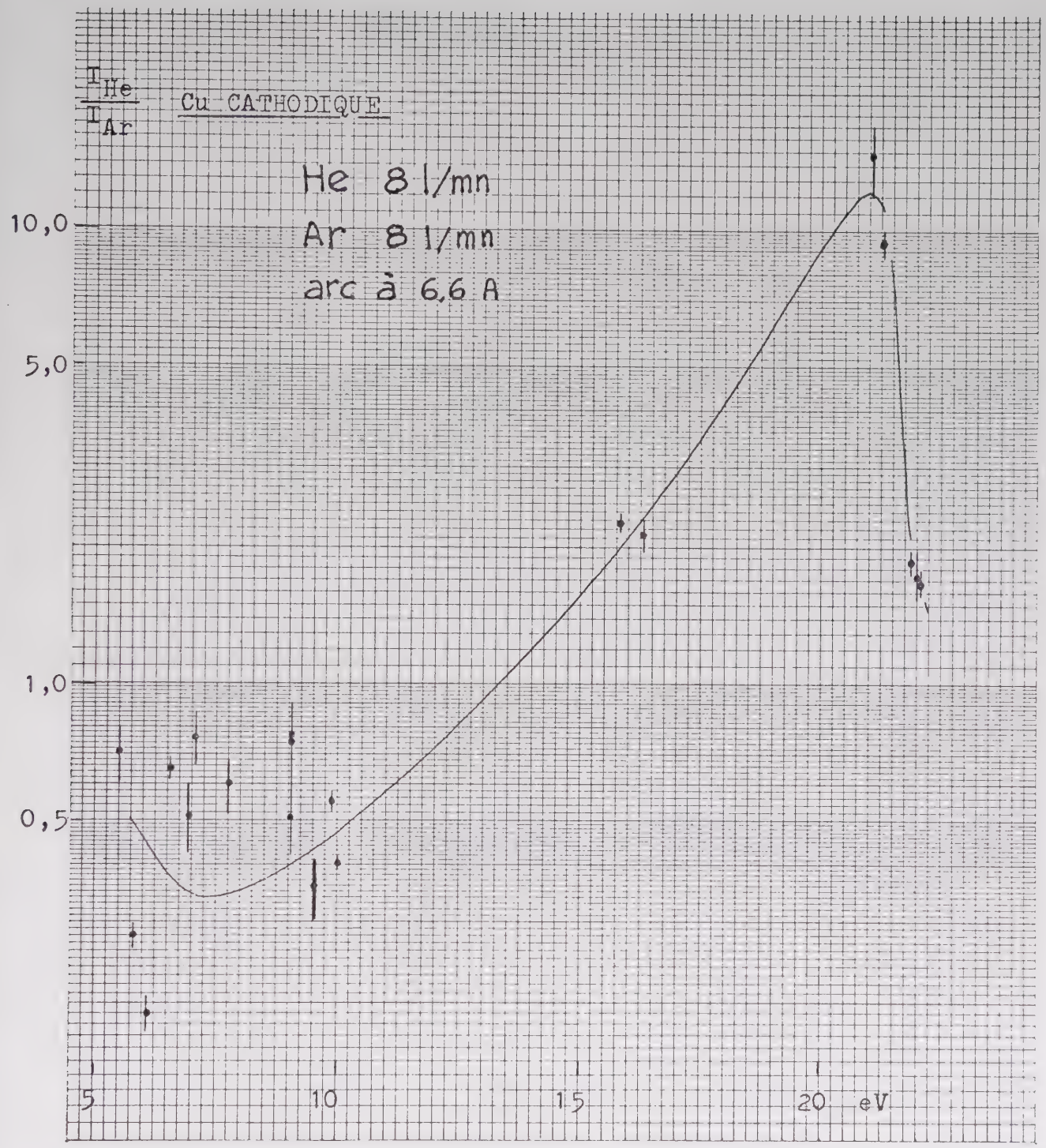

$\frac{I_{He}}{I_{Ar}}$
Cu CATHODIQUE
He 8 l/mn
Ar 8 l/mn
arc à 6,6 A
10,0
5,0
1,0
0,5
5
10
15
20
eV

Figure 17

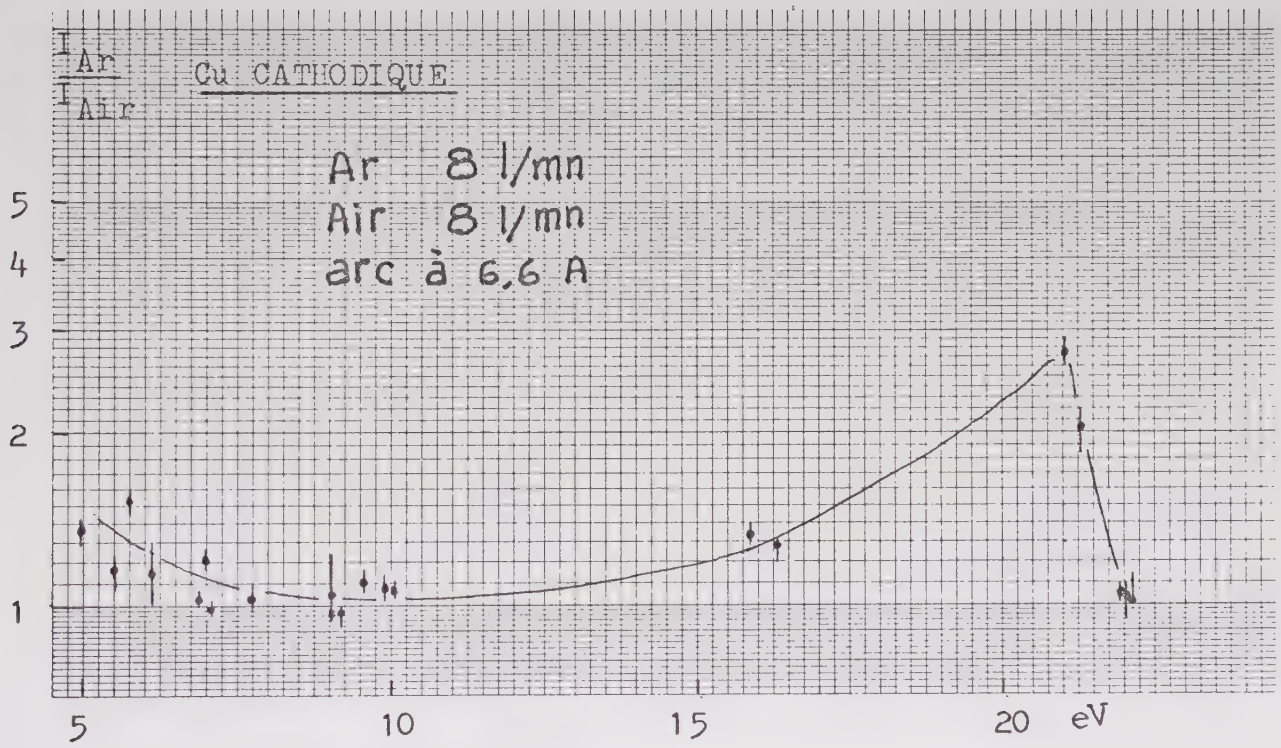

I_{Ar}/I_{Air}
Cu CATHODIQUE
Ar 8 l/mn
Air 8 l/mn
arc à 6,6 A
5
4
3
2
1
5
10
15
20
eV

TABLEAU II

ZONE ANODIQUE

"Exploration de la POINTE de l'ANODE"

Anode : CUIVRE
Cathode : CARBONE

$$\log \frac{\text{Intensité dans l'Hélium}}{\text{Intensité dans l'Argon}}$$

$$\log \frac{\text{Intensité dans l'Argon}}{\text{Intensité dans l'Air sec}}$$

λ CUIVRE		eV	I_{He} / I_{Ar}	$I_{Ar} / I_{Air\ sec}$
I	2236,27	7,15	-	0,90
II	2242.61	16,44	1,67	1,48
I	2244,26	5,50	0,56	1,00
II	2246,99	15,89	1,82	1,50
II	2248,96	22,06	1,27	-
I	2260,52	6,84	0,76	0,80
II	2286,64	21,97	1,26	-
II	2290,99	22,16	1,15	-
I	2303,11	6,99	0,38	0,81
I	2441,63	5,05	-	0,92
I	2492,14	4,95	-	1,08
II	2506,27	21,06	3,50	1,48
II	2529,30	21,31	2,30	1,25
I	2579,29	9,84	0,96	0,87
I	2618,36	6,10	0,33	0,62
I	2630,00	9,51	0,84	0,73
I	2720,19	7,79	0,97	0,89
I	2751,81	10,04	0,90	0,75
I	2824,37	5,75	0,29	0,68
I	2851,74	9,28	-	0,94
I	2858,22	9,13	0,83	0,75
I	2933,06	9,02	-	0,93

Figure 18

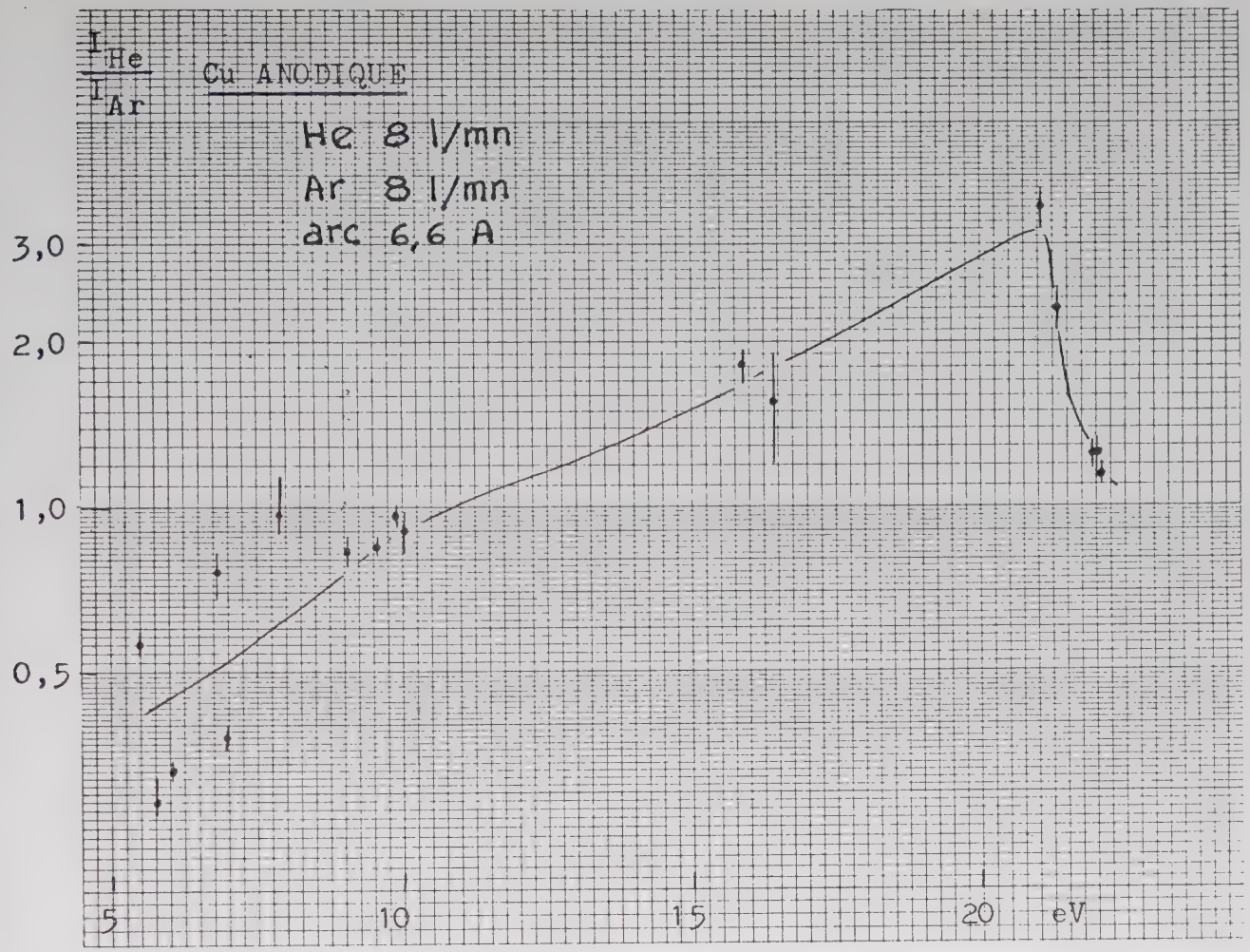


Figure 19

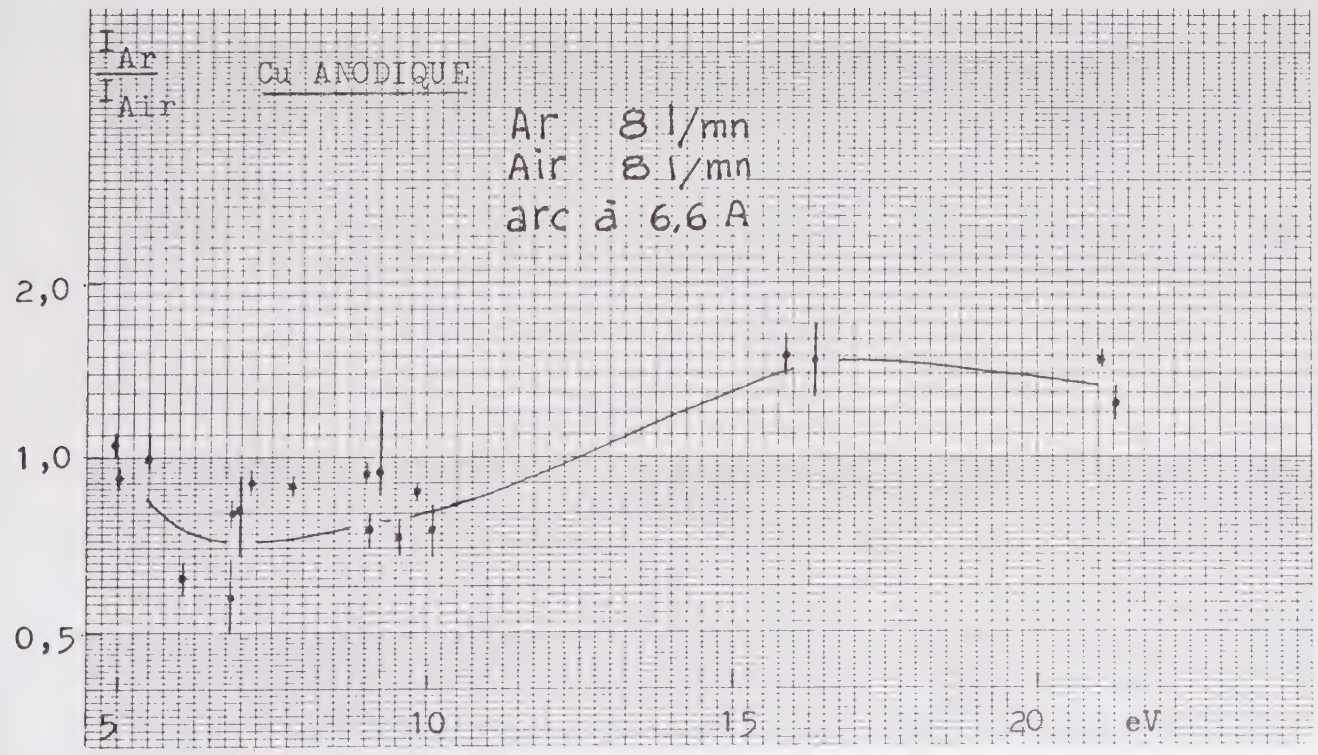


TABLEAU III

$$\log \frac{\text{Intensité raie du Cuivre , Zone du CUIVRE CATHODIQUE}}{\text{Intensité raie du Cuivre , Zone du CARBONE ANODIQUE}}$$

λ CUIVRE	eV	HELIUM	ARGON	AIR SEC
I 2236,27	7,15	1,08	1,33	1,36
II 2242,61	16,44	8,08	3,23	3,40
I 2244,26	5,50	1,65	1,62	1,59
II 2246,99	15,89	7,22	2,64	2,80
II 2248,96	22,06	1,94	1,11	1,06
I 2260,52	6,84	1,73	1,89	2,10
II 2286,64	21,97	2,02	1,08	1,03
II 2290,99	22,16	1,67	1,05	1,02
I 2303,11	6,99	3,22	2,64	2,74
I 2441,63	5,05	-	1,73	1,44
I 2492,14	4,95	-	1,98	1,58
II 2506,27	21,06	↗	13,50	5,00
II 2529,30	21,31	↗	5,32	2,53
I 2579,29	9,84	1,12	1,94	1,87
I 2618,36	6,10	3,96	7,40	10,86
I 2630,00	9,51	1,83	4,38	4,31
I 2720,19	7,76	1,22	1,99	1,94
I 2751,81	10,04	1,83	4,23	3,97
I 2824,37	5,75	3,44	3,47	3,10
I 2851,74	9,28	-	1,29	1,29
I 2858,22	9,13	1,81	3,00	3,04
I 2933,06	9,02	1,02	1,32	1,37

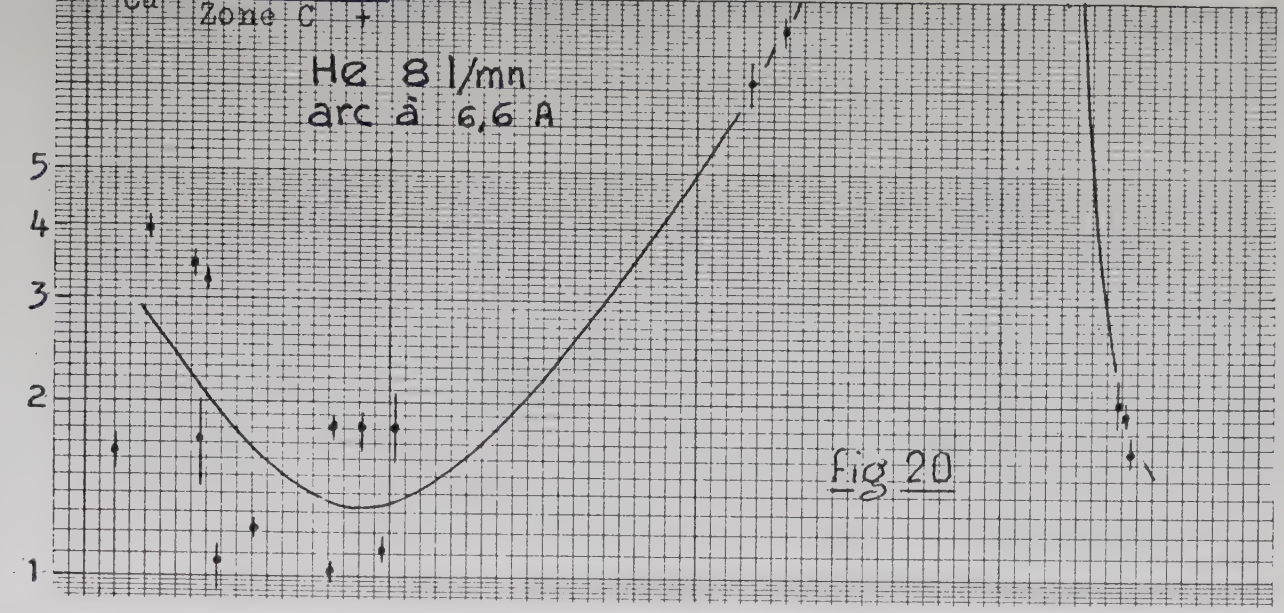


Fig 20

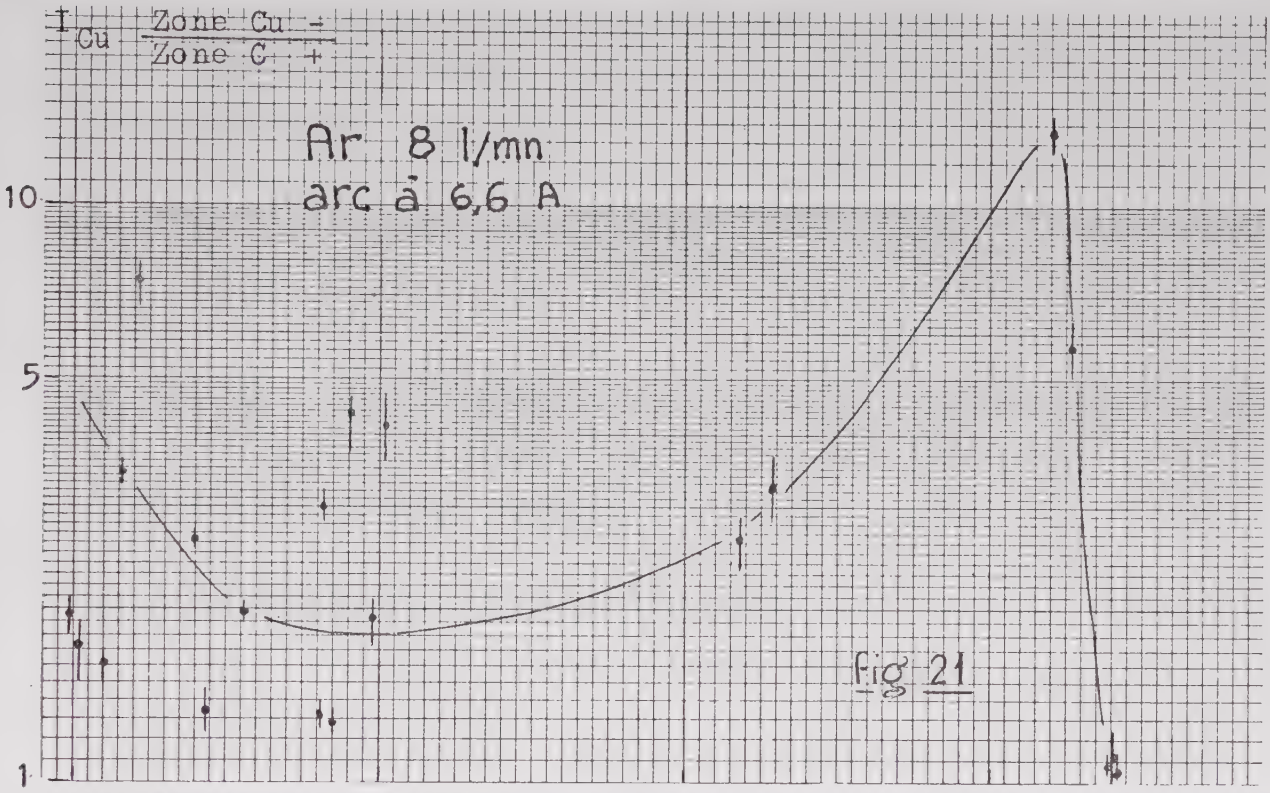


Fig 21

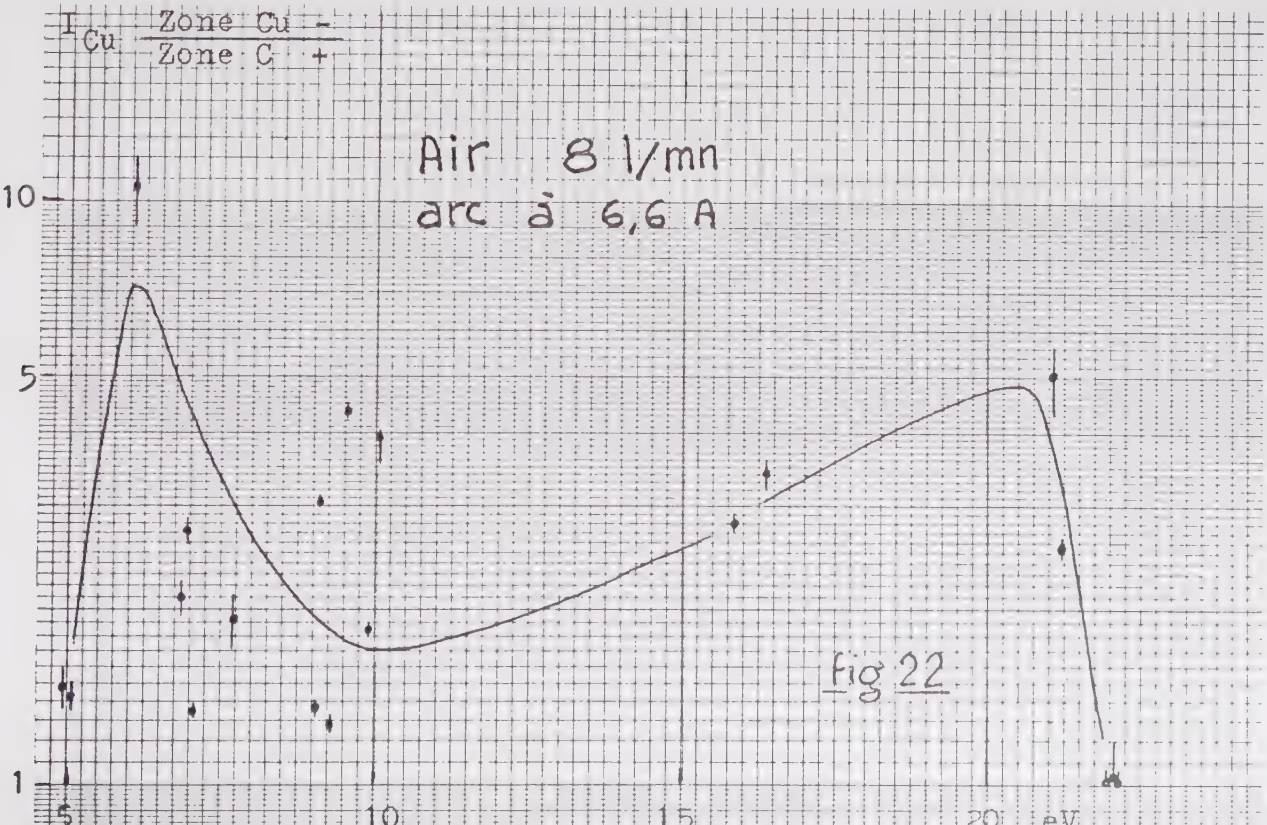


Fig 22

Ces diminutions ou augmentations des intensités des raies du Cu I et II sous les différentes atmosphères sont également relevées aux tableaux I, II et aux courbes des fig. 16,17,18,19 sous formes de rapports logarithmiques des intensités:

log (intensité dans hélium / intensité dans argon)

log (intensité dans argon / intensité dans air)

pour chaque zone distincte, cathodique ou anodique.

Ceci nous a permis de constater que, quelle que soit la polarité de l'électrode en cuivre, les intensités des raies Cu II sont très importantes en atmosphère hélium et qu'à l'inverse, les intensités des raies Cu I ne sont importantes qu'en atmosphère air. Il semble qu'il se dégage là le rôle du gaz entourant la décharge(°).

Afin de mettre ce rôle plus en évidence, nous avons comparé les intensités des raies I ou II du cuivre au niveau de l'électrode en cuivre à celles de ces mêmes raies au niveau de la contre-électrode en carbone.

Couple CUIVRE CATHODE - CARBONE ANODE (tableau III, fig.20-21-22)

Les rapports des intensités des raies Cu I et II émises dans la zone de la cathode en cuivre avec celles de ces mêmes raies émises dans la zone de l'anode en carbone au cours d'une même émission spectrale, sous différentes atmosphères, sont relevés au tableau III.

Ce tableau montre une certaine similitude entre les colonnes hélium avec argon d'une part et argon avec air d'autre part.

Dans les colonnes hélium et argon, nous voyons que les intensités des raies Cu II sont très importantes dans la zone de la cathode en cuivre alors qu'elles sont très faibles dans la zone de l'anode en carbone. Quant aux raies Cu I, leurs intensités au niveau des deux zones ne sont que légèrement diffé - rentes.

(°) le rôle du gaz entourant la décharge est étudié par de nombreux auteurs. Par exemple: (3),(6),(11),(18),(23),(43),(53), (73),(74),(78),(79),(82),.

TABLEAU IV

$$\log \frac{\text{Intensité raie du Cuivre , Zone du CUIVRE ANODIQUE}}{\text{Intensité raie du Cuivre , Zone du CARBONE CATHODIQUE}}$$

	λ CUIVRE	eV	HELIUM	ARGON	AIR SEC
I	2236,27	7,15	-	1,03	1,13
II	2242,61	16,44	3,40	1,83	1,29
I	2244,26	5,50	0,97	1,22	1,15
II	2246,99	15,89	3,36	1,68	1,27
II	2248,96	22,06	1,27	-	-
I	2260,52	6,84	0,74	1,16	1,23
II	2286,64	21,97	1,27	-	-
II	2290,99	22,16	1,15	-	-
I	2303,11	6,99	0,72	1,40	1,27
I	2441,63	5,05	-	1,21	1,23
I	2492,14	4,95	-	1,26	1,26
II	2506,27	21,06	6,10	1,87	1,26
II	2529,30	21,31	3,26	1,43	1,15
I	2579,29	9,84	-	1,04	1,15
I	2618,36	6,10	0,80	1,50	1,57
I	2630,00	9,51	0,96	1,13	1,39
I	2720,19	7,76	-	1,02	1,12
I	2751,81	10,04	0,98	1,08	1,31
I	2824,37	5,75	0,81	1,52	1,39
I	2851,74	9,28	-	-	1,05
I	2858,22	9,13	-	1,14	1,30
I	2933,06	9,02	-	-	1,06

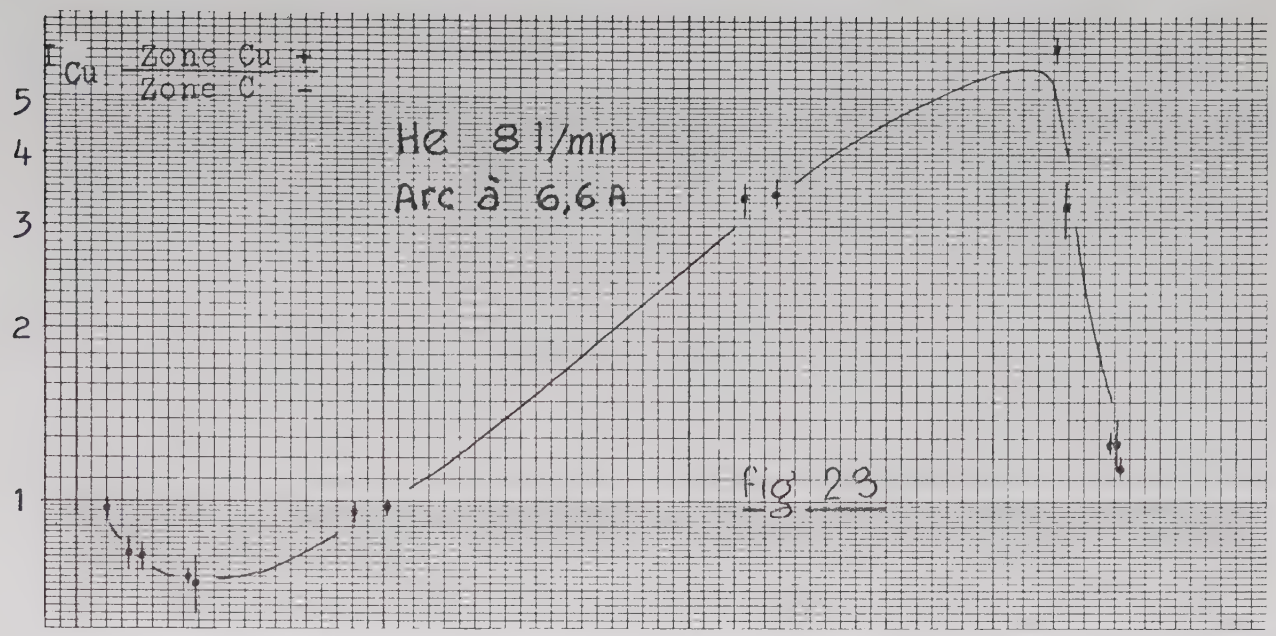


fig 23

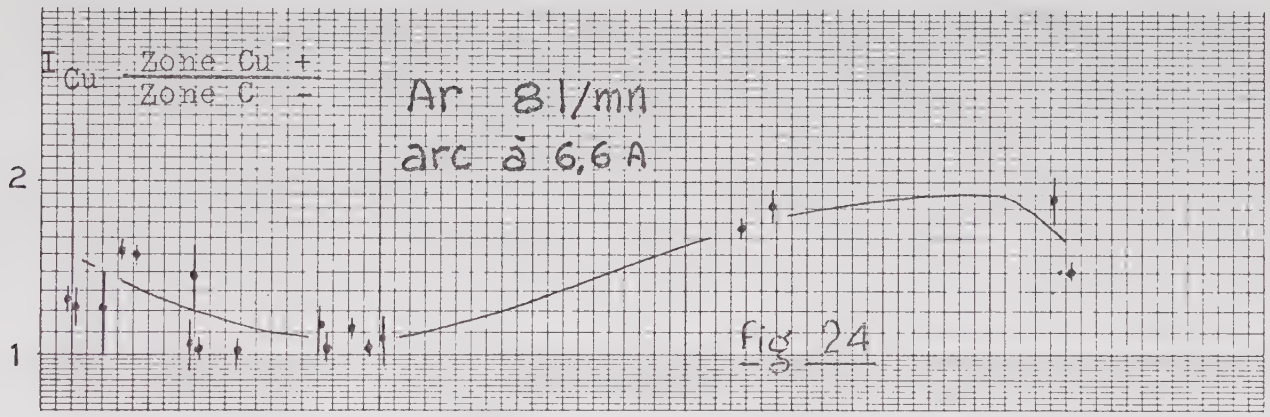


fig 24

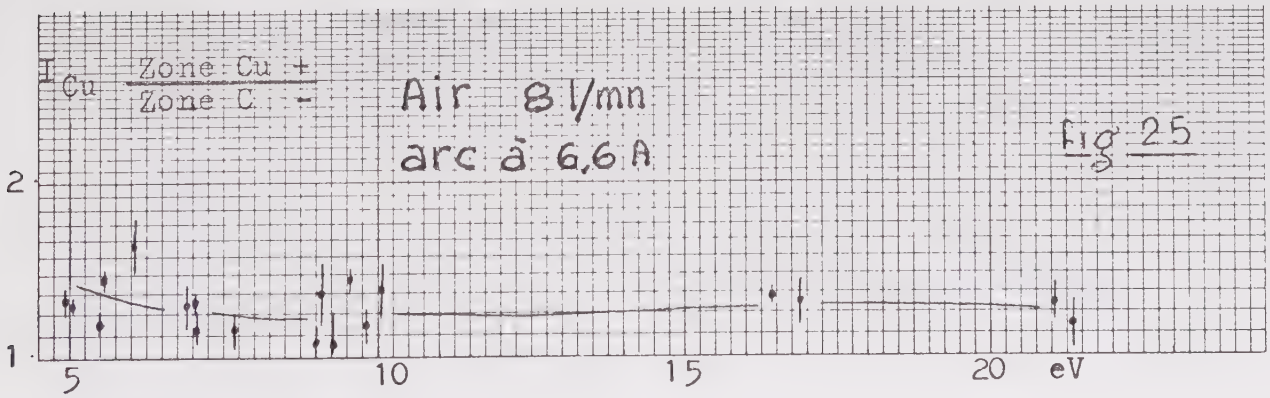


fig 25

Dans les colonnes argon et air, la similitude concerne les intensités des raies Cu I dans la zone de la cathode en cuivre où elles sont plus intenses que dans la zone de l'anode en carbone.

Couple CUIVRE ANODE - CARBONE CATHODE (tableau IV, fig.23,24,25)

Au tableau IV sont relevés les rapports des intensités des raies Cu I et II émises dans la zone de l'anode en cuivre avec celles de ces mêmes raies émises dans la zone de la cathode en carbone.

Dans ce tableau, nous remarquons une similitude presque parfaite entre les colonnes argon et air: les intensités des raies Cu I et II dans la zone de l'anode en cuivre sont à peu près identiques à celles de ces mêmes raies dans la zone de la cathode en carbone, avec une légère prédominance des intensités dans la zone du cuivre anodique. La colonne hélium montre une intensité plus importante des raies Cu II dans la zone de l'anode en cuivre. Par contre, les raies Cu I sont plus intenses dans la zone de la cathode en carbone que dans la zone de l'anode en cuivre.

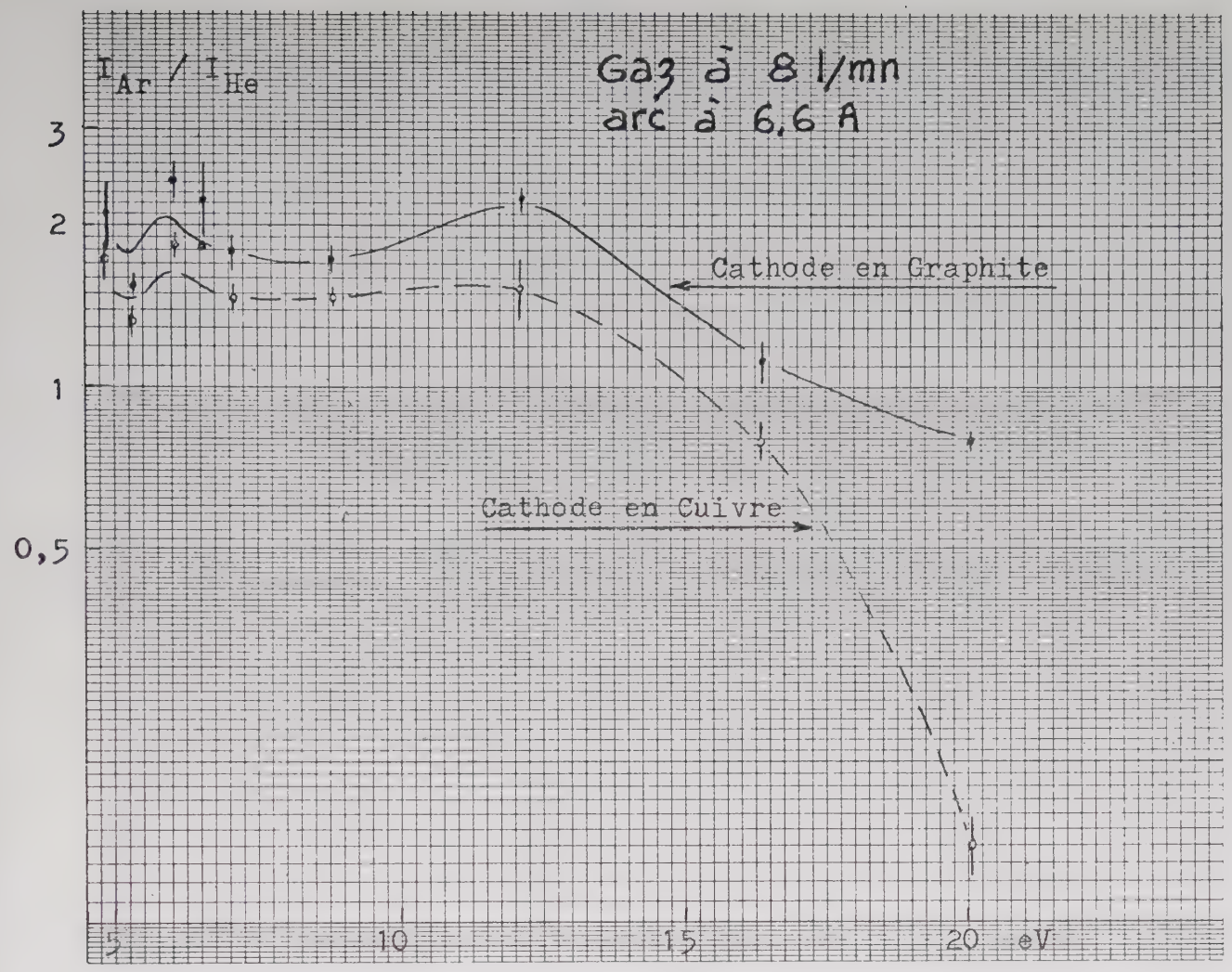
Les résultats de ces diverses expériences nous conduisent à entreprendre une série d'essais ayant pour but pratique, une utilisation éventuelle d'un gaz particulier (hélium, argon ou air) et d'une cathode appropriée en vue d'augmenter la sensibilité et la reproductibilité de l'analyse spectroscopique.

DE L'ANALYSE

Nous avons mélangé en poids, une partie de poudre R.U.(°) de Johnson Matthey avec neuf parties de poudre de graphite.

(°) R.U.: "Raies Ultimes". La poudre de base est constituée par un mélange d'oxydes: de zinc, de magnésium et de calcium. Elle contient des traces de 50 éléments dont la quantité est ajustée de manière telle que seules les "raies ultimes" et les raies les plus sensibles de ces éléments apparaissent lorsqu'on utilise une excitation par arc.(en moyenne 7 raies pour chaque élément).

Figure 26

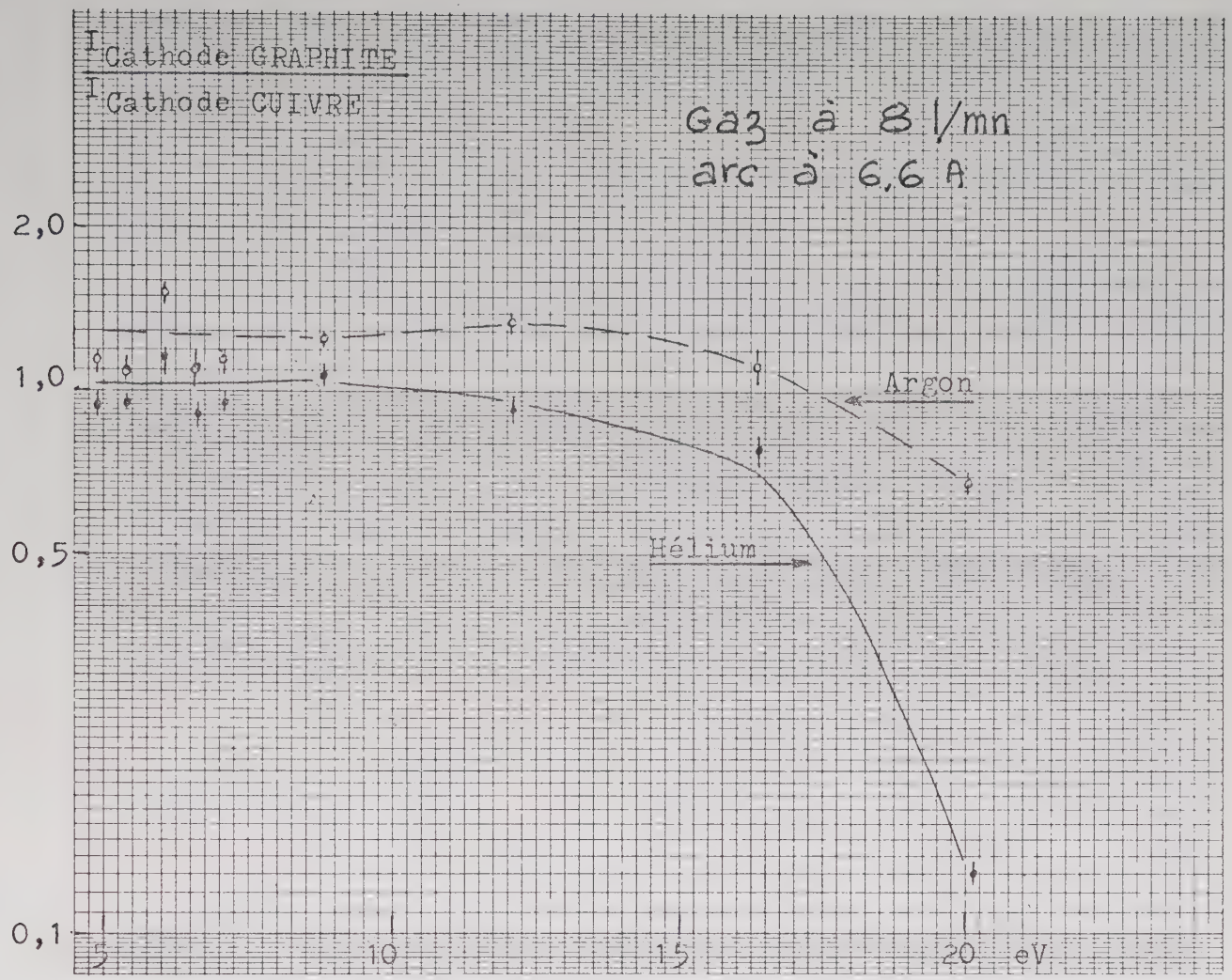


λ	ELEMENTS(*)	eV(*)	CATHODE EN GRAPHITE (+) I_{Ar} / I_{He}	CATHODE EN CUIVRE (+) I_{Ar} / I_{He}
Sb I	2311,47	5,34	1,54	1,34
As I	2349,84	6,56	2,21	1,81
B I	2497,72	4,94	2,11	1,72
Zn II	2502,00	20,17	0,79	0,14
P I	2535,65	7,18	1,80	1,48
Zn I	2569,87	8,79	1,73	1,49
Mn II	2593,73	12,16	2,25	1,53
Mg II	2790,76	16,44	1,13	0,79
Ca I	3006,85	6,02	2,41	1,85

(*) N.B.S. Circular 488, Section 1-2-3

(+) valeurs moyennes obtenues à partir de dix mesures comme indiqué à la page 12. Les maximums et minimums sont portés sur les courbes.

Figure 27



λ ELEMENTS	eV	$\frac{I_{Cathode\ GRAPHITE}}{I_{Cathode\ CUIVRE}}$ HELIUM	ARGON
Sb I 2311,47	5,34	0,95	1,09
As I 2349,84	6,56	0,90	1,10
B I 2497,72	4,94	0,94	1,15
Zn II 2502,00	20,17	0,13	0,68
P I 2535,65	7,18	0,95	1,15
Zn I 2569,87	8,79	1,09	1,25
Mn II 2593,73	12,16	0,92	1,35
Mg II 2790,76	16,44	0,78	1,12
Ca I 3006,85	6,02	1,18	1,53

Ce mélange compose la charge d'un cratère taillé dans une baguette en graphite (schéma p. 10).

Cette électrode est TOUJOURS POSITIVE. La cathode étant soit une baguette en graphite, soit une baguette en cuivre taillée en pointe à 60°.

Espace inter-électrodes: 3 mm
Gaz(°) : HELIUM, ARGON à 8 l/mn.
Fente du spectrographe : 30 µ
Filtre : 100 et 10 % de transmission
Pose : 20 secondes
(ces conditions sont analogues à celles de la page 11)

A)- En intégrant la totalité de la lumière émise par la colonne de décharge:

A-1) Les courbes de la figure 26 dont les rapports des intensités sont relevés au tableau qui l'accompagne, semblent indiquer que, quelle que soit la cathode (carbone ou cuivre), les intensités sont importantes en atmosphère argon pour des raies de potentiels d'excitation allant jusqu'à 12 eV environ. Par contre, pour des raies de potentiels d'excitation supérieurs à 12 eV, leurs intensités maximums ne sont obtenues qu'en atmosphère hélium.

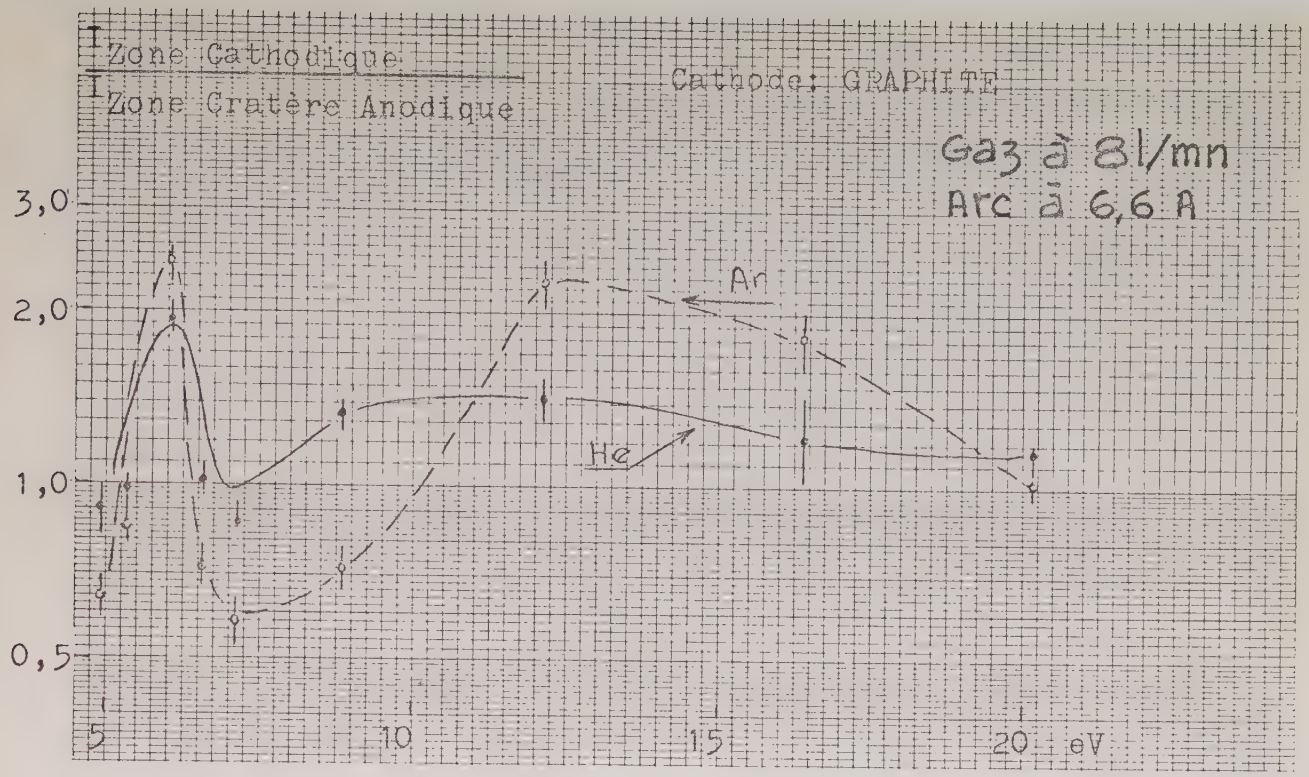
A-2) En ce qui concerne les rapports des intensités des raies obtenues à l'aide d'une cathode en carbone avec celles obtenues en utilisant une cathode en cuivre, nous constatons en milieu hélium (fig. 27 et tableau), que les raies II de potentiels d'excitation supérieurs à 12 eV sont plus intenses avec une cathode en cuivre. De même, en milieu argon, les raies II d'environ 20 eV sont également plus intenses avec une cathode en cuivre qu'avec une cathode en carbone.

(°) nous avons volontairement laissé de côté l'étude de l'atmosphère air pour la reprendre plus en détail dans:"Schéma spectral de la colonne de décharge..." p. 29 et suivantes

Fe			
1	zone cathodique	Helium	Cathode Carbone
2	zone anodique		
3	zone cathodique	Argon	
4	zone anodique		
5	zone cathodique	Helium	Cathode Cuivre
6	zone anodique		
7	zone cathodique	Argon	
8	zone anodique		

Remarquer dans la zone cathodique le renforcement general des raies des elements contenus dans le cratère anodique

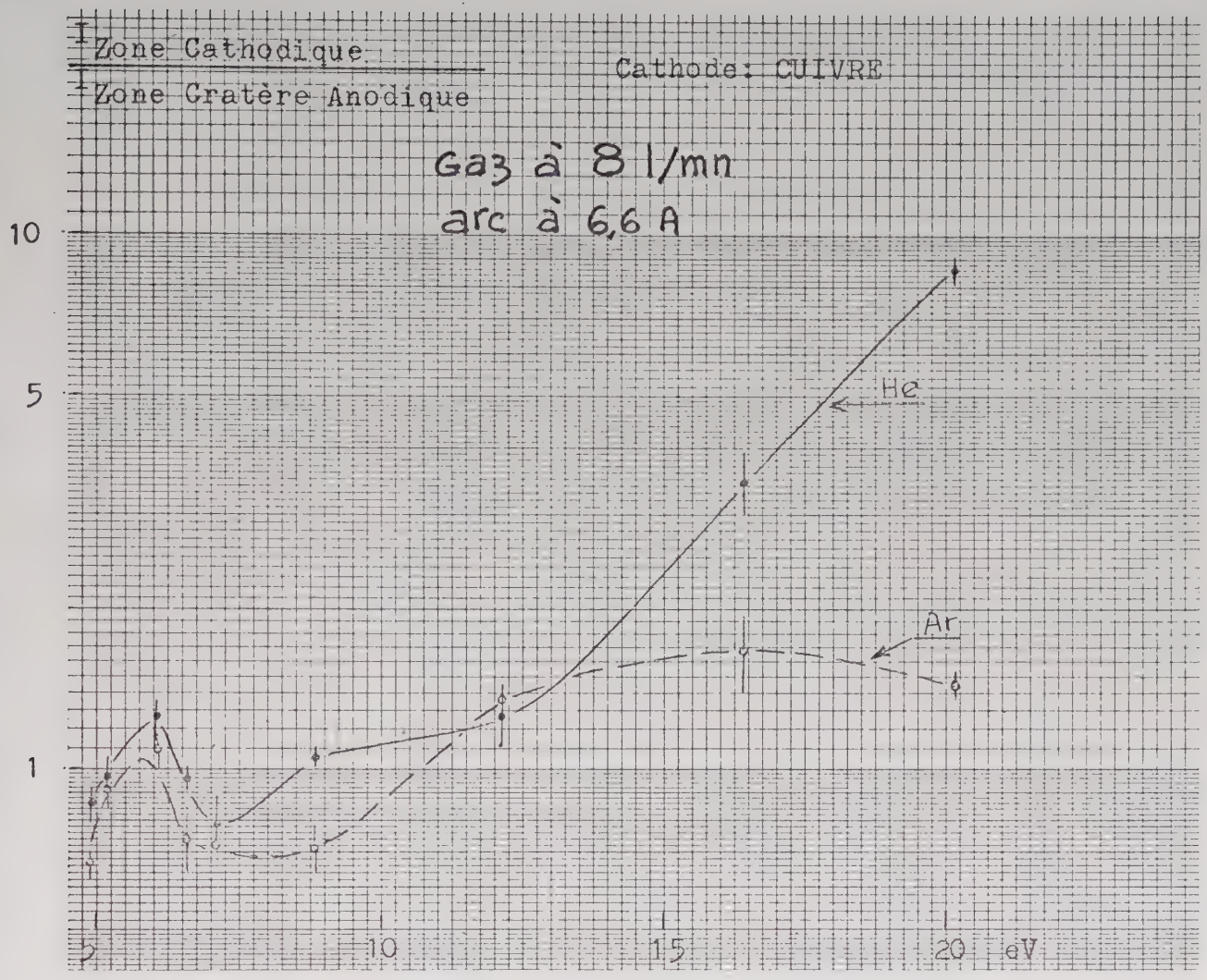
Figure 28



Intensité zone CATHODIQUE / Intensité zone ANODIQUE (Cratère)

λ	ELEMENTS	eV	HELIUM $I_{Cath.}/I_{Anode\ (cratère)}$	ARGON $I_{Cath.}/I_{Anode\ (cratère)}$
Sb I	2311,47	5,34	0,98	0,84
As I	2349,84	6,56	1,03	0,72
B I	2497,72	4,94	0,91	0,64
Zn II	2502,00	20,17	1,17	1,02
P I	2535,65	7,18	0,86	0,58
Zn I	2569,87	8,79	1,35	0,72
Mn II	2593,73	12,16	1,42	2,27
Mg II	2790,76	16,44	1,22	1,81
Ca I	3006,85	6,02	1,94	2,46

Figure 29



Intensité zone CATHODIQUE
Intensité zone ANODIQUE (Cratère)

ELEMENTS	eV	HELIUM $I_{Cath.}/I_{Anode}$ (cratère)	ARGON $I_{Cath.}/I_{Anode}$ (cratère)
Sb I 2311,47	5,34	0,97	0,91
As I 2349,84	6,56	0,96	0,74
B I 2497,72	4,94	0,86	0,67
Zn II 2502,00	20,17	8,60	1,45
P I 2535,65	7,18	0,79	0,72
Zn I 2569,87	8,79	1,08	0,71
Mn II 2593,73	12,16	1,27	1,36
Mg II 2790,76	16,44	3,48	1,69
Ca I 3006,85	6,02	1,27	1,10

B)- Les mêmes expériences de comparaison entre cathodes de nature différente sont reprises ici où une exploration des zones cathodiques et anodiques est effectuée.

B-1) Avec une cathode en carbone (fig. 28) nous observons deux zones d'excitation maximum.

B-1-1) Dans la zone du carbone cathodique, les intensités maximums observées concernent les raies de 12 et 16 eV.

B-1-2) Dans la zone du cratère anodique, les intensités maximums observées concernent les raies de 7 et 5 eV.

Ceci aussi bien en atmosphère hélium qu'en atmosphère argon.

B-2) Avec une cathode en cuivre (fig. 29) nous observons aussi bien en atmosphère hélium qu'en atmosphère argon, une forte intensité des raies II de potentiels d'excitation compris entre 16 à 20 eV., dans la zone du cuivre cathodique, des éléments de la poudre R.U. contenue dans le cratère anodique.

Cette série d'expériences montre que:

Les intensités des raies I et II de potentiels d'excitation élevés (10 à 20 eV.) de la matière contenue dans le cratère anodique SONT PLUS IMPORTANTES DANS LA ZONE DE LA CATHODE QUE DANS LA ZONE DU CRATERE ANODIQUE et qu'elles semblent être plus ou moins favorisées selon la nature de la cathode.

TROISIEME PARTIE

" SCHEMA SPECTRAL DE LA COLONNE DE DECHARGE:

DETERMINATION DES ZONES D'EMISSION DES ELEMENTS DE LA POUDRE R.U. CONTENUE DANS LE CRATERE D'UNE ANODE EN CARBONE ".

Les résultats des explorations des zones du cratère anodique et de la pointe de la cathode lors des émissions effectuées avec la poudre R.U. nous conduisent à essayer d'étudier plus finement la colonne de décharge, zone par zone, du cratère anodique vers la pointe de la cathode.

Dans cette nouvelle série d'expériences, nous avons utilisé un diaphragme fin(°) pour découper, en plusieurs spectres successifs, la colonne de décharge en diverses zones bien définies (voir les photos des spectres).

Ce découpage nous a permis de suivre les diverses émissions des raies I et II et de localiser exactement la zone où les intensités sont maximums.

D'autre part, profitant de la présence de l'élément zinc dans la poudre R.U., nous avons tenté de l'utiliser comme espèce thermométrique afin de déterminer l'allure de la courbe de distribution des températures du cratère anodique vers la pointe cathodique(+).

(°) système de fente mobile avec une ouverture de 0,2 mm. Placé devant l'objectif du spectrographe, il permet le découpage de la colonne de décharge en différentes zones d'observation bien précises. Le positionnement exact de la zone visée est obtenu grâce à une vis micrométrique servant au déplacement vertical de la fente (voir photo).

(+) voir p. 34 et discussion en annexe.

Les observations se font au niveau des zones suivantes:

1 - Pointe cathodique
2 - à 0,2 mm de la pointe cathodique
3 - à 0,5 mm de la pointe cathodique
4 - à 1,0 mm de la pointe cathodique
5 - Milieu de l'espace inter-électrodes
6 - à 1,0 mm du cratère anodique
7 - à 0,5 mm du cratère anodique
8 - à 0,2 mm du cratère anodique
9 - Cratère (anode)

METHODE DE MESURE DES TEMPERATURES

La méthode de mesure des températures que nous utilisons ici est basée sur la supposition que les populations atomiques, ioniques et/ou moléculaires des espèces thermométriques suivent la distribution de BOLTZMANN(°).

L'équation de l'intensité absolue d'une raie spectrale émise lors d'une transition d'un niveau supérieur q vers un niveau inférieur p est:

$$I_{qp} = \frac{d}{4\pi} N_q . A_{qp} . h \nu_{qp} \qquad /a/$$

où q et p sont les différents niveaux d'énergie

- d : profondeur optique du plasma (en cm.)
- N_q : nombre de particules (concentration ou densité) au niveau q par cm^3 (atomes: N_{aq}, ou ions: N_{iq}).
- h : constante de Planck, en erg.sec.
- ν_{qp} : fréquence d'émission de la raie dans la transition de q vers p (en $sec.^{-1}$).
- A_{qp} : probabilité de transition déterminant l'intensité intrinsèque de la raie (en $sec.^{-1}$).

(°) CHARLOTTE PECKER-WIMEL "Introduction à la spectroscopie des plasmas" GORDON & BREACH 1967 distribué par DUNOD

D'autre part, la concentration (ou densité) au niveau q est égale à:

$$N_q = N \frac{g_q}{B(T)} e^{-\varepsilon_q / kT}$$

où g : poids statistique
ε_q : énergie d'excitation
k : constante de Boltzmann
$B(T)$: fonction de partition, définie par:

$$B(T) = \sum_{o}^{j} g_m e^{-\varepsilon_q / kT}$$

l'équation /a / devient:

$$I_{qp} = \frac{d}{4\pi} N \frac{g_q}{B(T)} A_{qp} e^{-\varepsilon_q / kT} h\tilde{\nu}_{qp} \qquad /b/$$

Avec $\tilde{\nu} = c/\lambda$ et posant I_a et I_b comme intensités des raies a et b, le rapport I_a / I_b est:

$$\frac{I_a}{I_b} = \frac{(gA)_a}{(gA)_b} \cdot \frac{\lambda_b}{\lambda_a} \exp\left(-\frac{\varepsilon_a - \varepsilon_b}{kT}\right) \qquad /c/$$

et sous sa forme logarithmique:

$$\log_{10} \frac{I_a}{I_b} = \log_{10} \frac{(gA)_a}{(gA)_b} + \log_{10} \frac{\lambda_b}{\lambda_a} - \frac{\varepsilon_a - \varepsilon_b}{kT} \log_{10} e \qquad /d/$$

d'où nous obtenons T :

$$T = \frac{\frac{\varepsilon_a - \varepsilon_b}{k} \log_{10} e}{\log_{10} \frac{(gA)_a}{(gA)_b} - \log_{10} \frac{\lambda_a}{\lambda_b} - \log_{10} \frac{I_a}{I_b}} \qquad /e/$$

Si le potentiel d'excitation est exprimé en électron-volts,

$\varepsilon_J = eV \cdot 1{,}6.10^{-19}$

$\frac{\varepsilon}{k} = \frac{1{,}6.10^{-19}}{1{,}38.10^{-23}}$ d'où $\frac{1{,}6}{1{,}38} .10^4.0{,}43 = 5040$

$$T = \frac{5040\ (\varepsilon_a - \varepsilon_b)\ eV}{\log_{10} \frac{(gA)_a}{(gA)_b} - \log_{10} \frac{\lambda_a}{\lambda_b} - \log_{10} \frac{I_a}{I_b}} \qquad /f/$$

Cette équation est utilisée dans la METHODE SPECTROGRAPHIQUE DES DEUX RAIES pour la mesure des températures d'une décharge d'arc.

L'espèce thermométrique utilisée dans notre travail étant le zinc, présent dans la poudre R.U., le couple de raies utilisé est:

Zn I, 3282 Å de 7,75 eV (raie a) et

Zn I, 3076 Å de 4,01 eV (raie b)

$\varepsilon_a - \varepsilon_b = 3{,}74$ eV

$\lambda_a / \lambda_b \simeq 1$

$(gA)_a / (gA)_b = 1810$ (°) d'où $\log_{10} (gA)_a / (gA)_b = 3{,}258$

$\log_{10} I_b / I_a = \Delta Y$

l'équation /f/ prend finalement la forme pratique de:

$$T = \frac{18850}{3{,}258 + \Delta Y} \qquad /g/$$

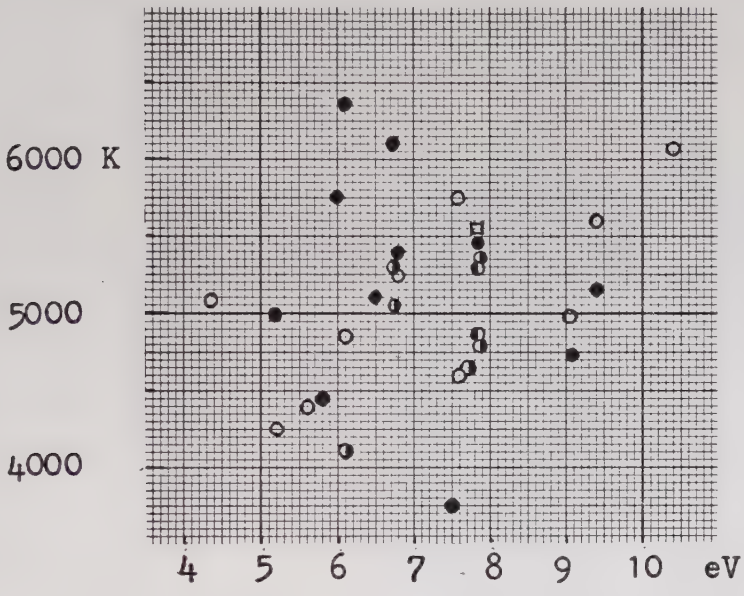
(°) L.De GALAN "Particle Distribution In D.C.Carbon Arc". Ph.D.Thesis, University of Amsterdam, 1965

voir également p.45.

Note:

Les résultats obtenus dépendent beaucoup du rapport $(gA)_a / (gA)_b$

Les valeurs numériques de la température d'un arc à courant continu de 10 ampères, obtenues à: Léningrad, Moscou, Pasadena, Amsterdam et Utrecht, montrent une divergence due aux différentes valeurs des (gA) ou (gf)(°) utilisées par ces laboratoires. Le tableau ci-dessous, empreinté à CORLISS(-), représente les différentes températures obtenues. La valeur moyenne, des 31 séries de données, est de 5100 K avec une déviation standard de 600 K.



● Léningrad gf-value
◐ Moscou gf-value
▫ Amsterdam gf-value
◑ Pasadena gf-value
○ Utrecht gA-value

(dans les tables, on trouve des valeurs gA ou gf, c'est à dire que A et f sont "pesées")

(°) f_{pq} est la force d'oscillateur relative à la transition $p \rightarrow q$.
Elle représente le nombre d'oscillateurs classiques qui ont la même action absorbante qu'un seul atome dans l'état p.(+) Certains auteurs définissent également une force d'oscillateur en émission f_{qp} tel que:

$$f_{qp} = \frac{g_p}{g_q} f_{pq}$$

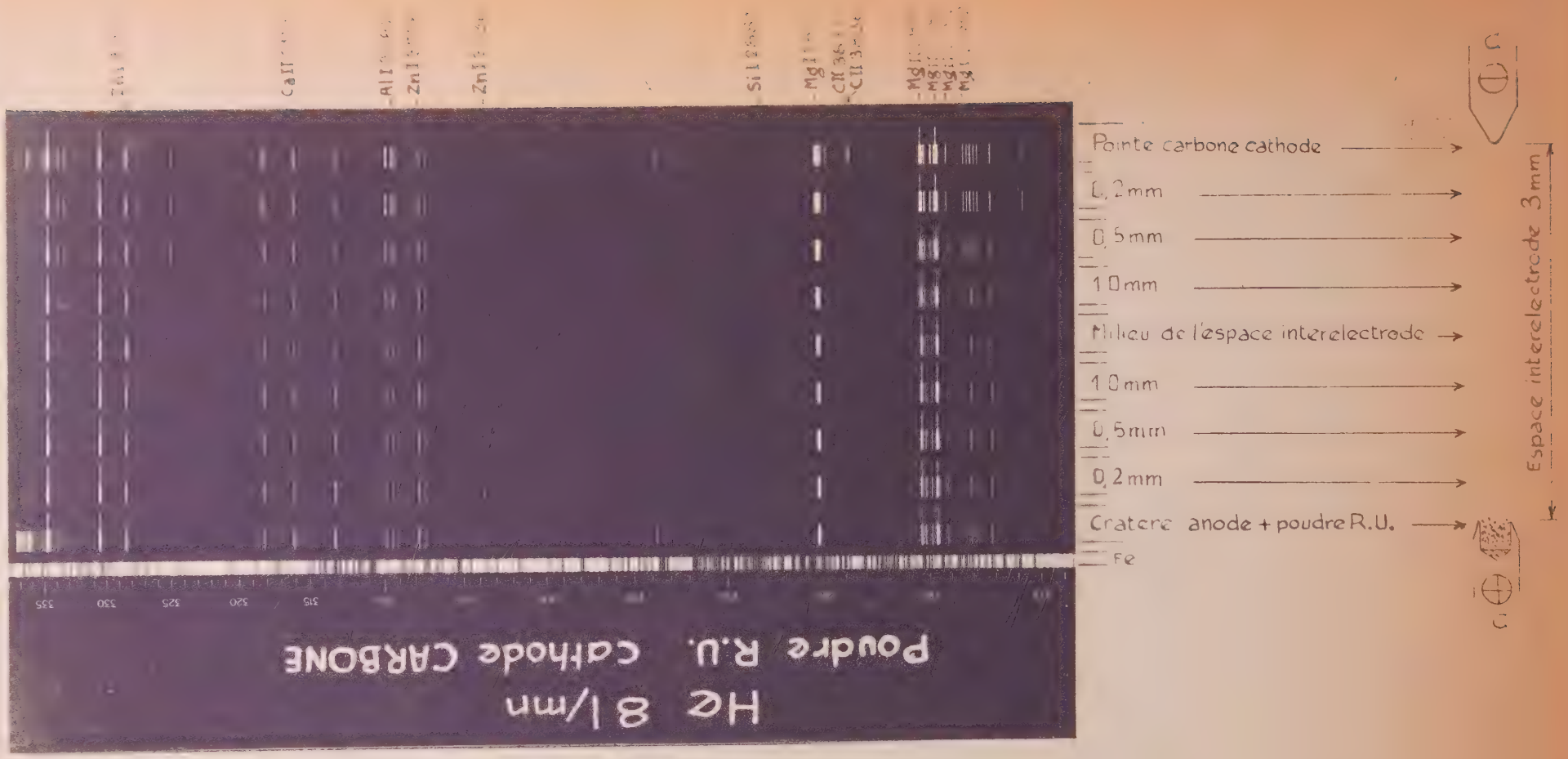
La force d'oscillateur est parfois utilisée à la place de la probabilité de transition. Leur correspondance est donnée par les formules:(x)

$$A_{qp} = \frac{6{,}67 \cdot 10^{15}}{\lambda^2} \frac{g_p}{g_q} f_{pq} \quad \text{et} \quad f_{pq} = 1{,}499 \cdot 10^{-16} \lambda^2 \frac{g_q}{g_p} A_{qp}$$

(-) C.H.CORLISS "Temperature of a copper arc" J.Res.Nat.Bur.Std.A Physics and Chemistry 66A, 5, 1962
C.H.CORLISS "Ionisation in the plasma of a copper arc" J.Res.Nat.Bur.Std.A.Physics and Chemistry 66A, 169, 1962

(+) CHARLOTTE PECKER-WIMEL op. cit.

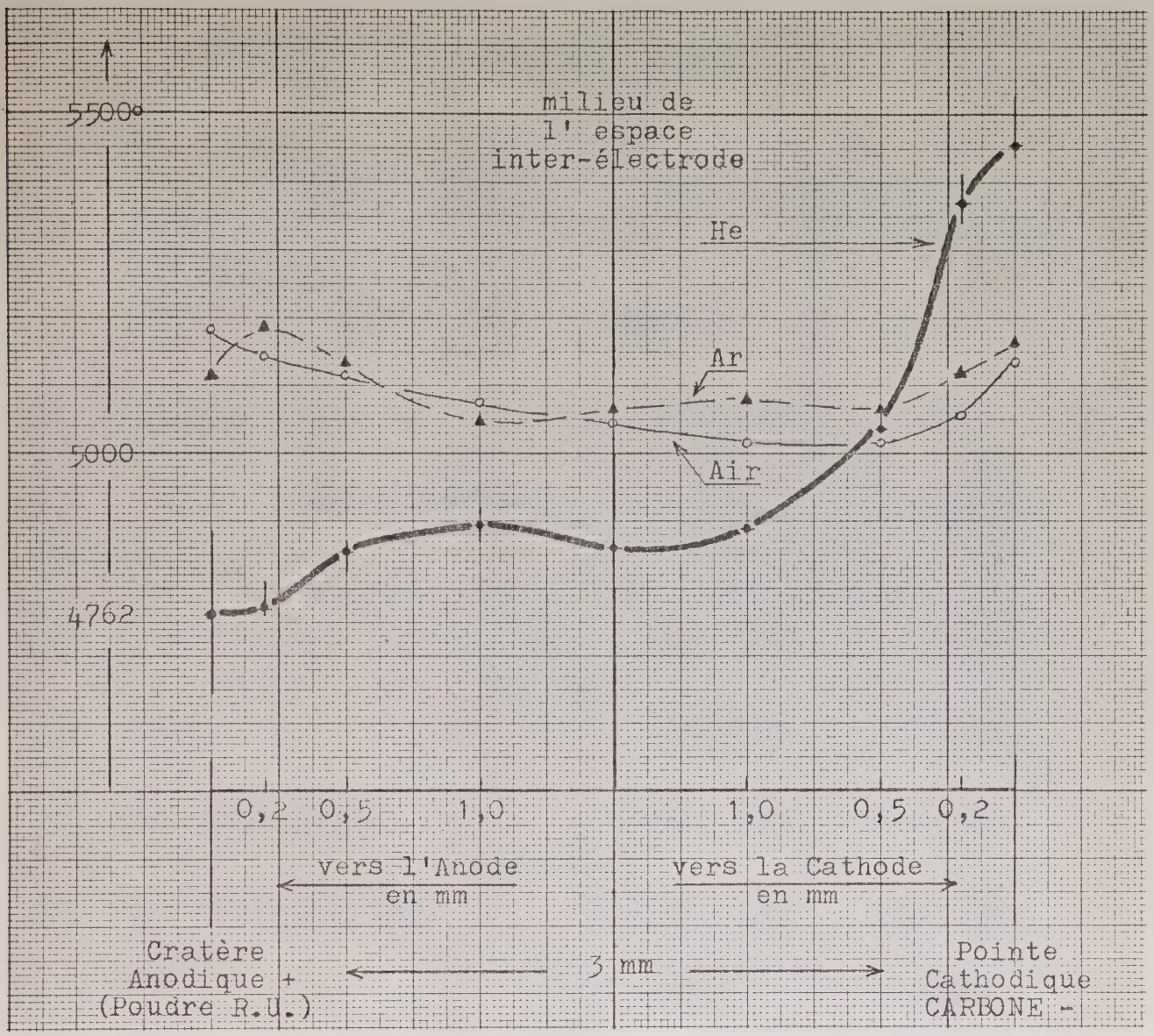
(x) "Atomic transition probabilities" N.S.D.R. N.B.S. 1966



Remarquer le renforcement des raies dans les zones cathodiques, notamment à la pointe cathodique, des elements de la poudre R.U. contenue dans le cratere anodique.

Couple thermometrique utilise : ZnI 3282 / ZnI 3076

Figure 30



Les températures sont calculées à partir de la moyenne des dix mesures individuelles de ΔY

où $\Delta Y = \log I_{3076} / I_{3282}$

1)- Pour la courbe HELIUM: chaque point représente la température moyenne obtenue avec ΔY_{moyen} . Les températures maximums et minimums représentées sur la courbe par des prolongements de part et d'autre de chaque point sont calculées avec les deux valeurs extrêmes des ΔY utilisés pour obtenir ΔY_{moyen}.

2) Pour les courbes ARGON et AIR: à cause de la proximité de ces deux courbes, les valeurs extrêmes ne sont pas représentées. D'ailleurs, les variations des ΔY pour ces deux gaz sont du même ordre de grandeur que celles de l'Hélium.

TABLEAU V

ATMOSPHERE HELIUM

Couple de raies: Zn I 3076 Å 4,01 eV
Zn I 3282 Å 7,75 eV

$$\log I_{3076} / I_{3282} = \Delta Y_{3282}^{3076}$$

COLONNE DE DECHARGE	$\Delta Y_{mini}^{maxi(*)}$	$K_{mini}^{maxi\ (+)}$
1) CRATERE ANODIQUE	$\underline{0,700}^{0,803}_{0,606}$	$\underline{4762}^{4886}_{4645}$
2) 0,2 mm du " "	$\underline{0,692}^{0,704}_{0,662}$	$\underline{4772}^{4810}_{4762}$
3) 0,5 mm du " "	$\underline{0,625}^{0,650}_{0,615}$	$\underline{4854}^{4870}_{4825}$
4) 1,0 mm du " "	$\underline{0,593}^{0,612}_{0,572}$	$\underline{4894}^{4920}_{4870}$
5) Milieu de l'espace inter-électrode	$\underline{0,620}^{0,642}_{0,610}$	$\underline{4860}^{4875}_{4840}$
6) 1,0 mm de la Cathode	$\underline{0,603}^{0,612}_{0,583}$	$\underline{4882}^{4900}_{4880}$
7) 0,5 mm " " "	$\underline{0,483}^{0,514}_{0,453}$	$\underline{5038}^{5070}_{5030}$
8) 0,2 mm " " "	$\underline{0,252}^{0,273}_{0,224}$	$\underline{5370}^{5410}_{5340}$
9) POINTE CATHODIQUE	$\underline{0,197}^{0,210}_{0,155}$	$\underline{5455}^{5525}_{5440}$

(*) ΔY_{moyen} avec les valeurs limites extrêmes

(+) températures calculées avec ΔY_{moyen} . Les températures maximums et minimums sont calculées avec les valeurs limites extrêmes des ΔY correspondants.
Voir également en annexe la discussion sur le calcul des températures.

TABLEAU VI

ATMOSPHERE ARGON

Couple de raies: Zn I 3076 Å 4,01 eV
Zn I 3282 Å 7,75 eV

$$\log I_{3076} / I_{3282} = \Delta Y_{3282}^{3076}$$

COLONNE DE DECHARGE	$\Delta Y^{(+)}_{moyen}$	K_{moyen}
1) CRATERE ANODIQUE	0,426	5116
2) 0,2 mm du " "	0,377	5185
3) 0,5 mm du " "	0,413	5134
4) 1,0 mm du " "	0,475	5049
5) Milieu de l'espace inter-électrode	0,464	5064
6) 1,0 mm de la Cathode	0,452	5080
7) 0,5 mm de la "	0,460	5069
8) 0,2 mm de la "	0,427	5115
9) POINTE CATHODIQUE	0,393	5162

(+) moyenne de dix mesures. Les variations de ΔY sont ici dans l'ordre de grandeur des limites ΔY^{maxi}_{mini} obtenues en atmosphère Hélium. Les températures en atmosphère Argon varient entre $\pm$ 50 K.
Voir également en annexe la discussion sur les températures.

TABLEAU VII

ATMOSPHERE AIR

Couple de raies: Zn I 3076 Å 4,01 eV
Zn I 3282 Å 7,75 eV

$$\log I_{3076} / I_{3282} = \Delta Y_{3282}^{3076}$$

COLONNE DE DECHARGE	ΔY_{moyen} (+)	K_{moyen}
1) CRATERE ANODIQUE	0,379	5182
2) 0,2 mm du " "	0,407	5143
3) 0,5 mm du " "	0,425	5118
4) 1,0 mm du " "	0,455	5076
5) Milieu de l'espace inter-électrode	0,476	5048
6) 1,0 mm de la Cathode	0,499	5017
7) 0,5 mm de la "	0,499	5017
8) 0,2 mm de la "	0,471	5054
9) POINTE CATHODIQUE	0,415	5132

(+) moyenne de dix mesures. Les variations de ΔY sont ici dans l'ordre de grandeur des limites ΔY_{mini}^{maxi} obtenues en atmosphère Hélium. Les températures en atmosphère Air varient entre $\pm$ 70 K.

Voir également en annexe la discussion sur les températures.

La formule /g/, avec des valeurs de ΔY mesurées au niveau des différentes zones observées, nous permet de calculer les températures atteintes dans ces diverses zones(°) et de tracer la courbe de DISTRIBUTION THERMIQUE DU CRATERE ANODIQUE, CHARGE DE POUDRE R.U., VERS LA POINTE CATHODIQUE EN CARBONE D'UN ARC A COURANT CONTINU DE 6,6 AMPERES EN ATMOSPHERES: HELIUM, ARGON ET AIR.

Les différentes températures mesurées sont relevées aux tableaux V, VI et VII.

Selon les courbes (fig. 30) :

1 - La température atteinte au niveau du cratère anodique d'un arc de 6,6 ampères en atmosphère air semble être plus importante que celles atteintes en atmosphères argon ou hélium :

T° dans air > T° dans argon > T° dans hélium

2 - Les courbes des températures atteintes dans les gaz air et argon semblent se confondre et semblent montrer que la répartition thermique serait homogène tout le long de la colonne de décharge, lors de l'utilisation de ces deux gaz(+).

3 - La température la plus basse au niveau du cratère anodique serait celle obtenue en atmosphère hélium. Par contre, c'est également avec cette atmosphère que la température la plus haute a été mesurée à la pointe cathodique: En atmosphère hélium, la température semble croitre du cratère anodique vers la pointe cathodique.

D'autre part:

En atmosphère hélium (tableau VIII), le "schéma de la colonne de décharge" montre que pour les éléments tels que: magnésium, calcium, les intensités de leurs raies I et II s'affaiblissent dans la zone du milieu de l'espace inter-électrodes pour redevenir très importantes dans la zone cathodique, notamment à la pointe de la cathode (fig. 31)

(°) voir la discussion de cette partie en annexe

(+) les températures pour un arc de 18,5 ampères sous atmosphères argon et air sont égalemnt mesurées et sont présentées en annexe.

TABLEAU VIII

ATMOSPHERE HELIUM

Cathode : CARBONE

Anode : CARBONE TAILLE EN CRATERE + POUDRE R.U.

Les valeurs sont: $\log (I_{\lambda} / I_{fond})$

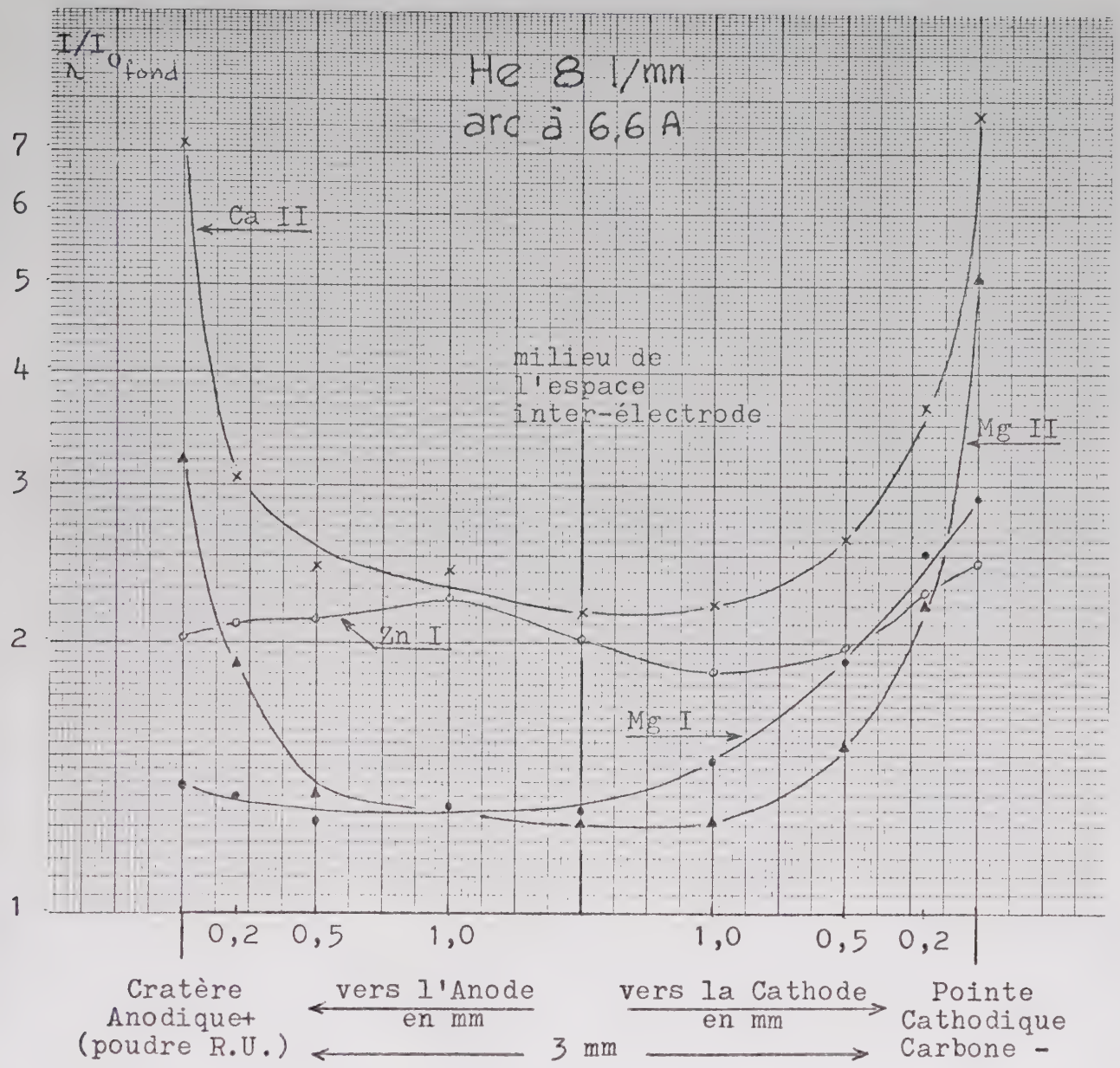
λ ELEMENTS	eV	Cratere Anodique + (Poudre R.U.)	← vers Cratère+ en mm			Milieu de l'espace inter-électrode	vers Cathode- en mm →			Pointe Cathodique CARBONE -
			0,2	0,5	1,0		1,0	0,5	0,2	
Be I 2348,61	5,25	1,50	1,59	1,45	1,59	1,47	1,41	1,36	1,30	1,26
As I 2349,84	6,60	1,51	1,53	1,48	1,52	1,37	1,25	1,20	1,18	1,20
B I 2497,22	4,94	1,38	1,47	1,35	1,41	1,25	1,19	1,14	1,11	1,10
ZnII 2502,00	20,17	-	-	-	-	-	-	-	-	1,14
Si I 2516,10	4,93	1,67	1,79	1,61	1,82	1,63	1,69	1,78	1,79	1,78
P I 2535,65	7,18	1,52	1,44	1,32	1,26	1,12	1,06	1,04	1,07	1,09
Hg I 2536,51	4,87	1,10	1,07	1,06	1,03	1,02	1,02	-	-	-
ZnII 2557,95	20,34	1,16	1,03	-	-	-	-	-	1,06	1,47
MnII 2576,10	12,20	1,11	1,18	1,18	1,20	1,15	1,26	1,60	1,86	1,80
MnII 2593,73	12,16	1,07	1,12	1,12	1,14	1,10	1,19	1,49	1,73	1,67
Sb I 2598,09	5,97	1,09	1,12	1,12	1,17	1,10	1,07	1,06	1,05	1,05
Zn I 2756,45	8,50	1,64	1,71	1,72	1,81	1,67	1,67	2,06	3,34	3,51
Mg I 2782,97	7,14	1,39	1,35	1,27	1,32	1,30	1,48	1,91	2,53	2,92
MgII 2790,76	16,44	3,22	1,90	1,37	1,32	1,26	1,32	1,54	2,20	5,10
Pb I 2833,06	4,36	-	-	-	-	-	1,03	1,06	1,10	1,11
Sn I 2839,99	4,77	-	-	-	-	-	-	1,02	1,02	1,03
Si I 2881,59	5,06	1,89	2,04	1,77	1,99	1,78	1,83	1,85	1,79	1,86
Ca I 3006,85	6,02	-	-	-	-	-	-	1,11	1,45	1,76
Zn I 3035,78	8,11	2,04	2,11	2,14	2,25	2,04	1,87	1,98	2,28	2,47
Al I 3082,16	4,02	1,06	1,05	1,04	1,06	1,06	1,14	1,37	1,54	1,71
CaII 3158,87	13,14	7,15	3,06	2,44	2,42	2,17	2,20	2,61	3,65	7,70
Cu I 3273,96	3,80	1,29	1,30	1,75	1,75	1,96	1,74	2,00	1,92	2,04
C I 2478,55	7,65	1,72	1,80	1,73	1,44	1,48	1,34	1,15	1,55	2,17
C II 2509,11	29,78	-	-	-	-	-	-	-	1,03	1,52
C II 2512,03	29,77	-	-	-	-	-	-	-	1,12	1,77
C II 2836,71	27,46	-	-	-	-	-	-	-	1,11	2,94
CIII 2296,89	53,49	-	-	-	-	-	-	-	-	1,80

Chaque valeur relevée est la moyenne de dix mesures du rapport:

$$\log(I_{\lambda\ élément} / I_{fond})$$

l'utilisation de ce rapport nécessite une correction de fond au niveau de chaque raie. La moyenne des coefficients de variation de chacune des raies utilisées pour le traçage des courbes est indiquée en bas des figures.

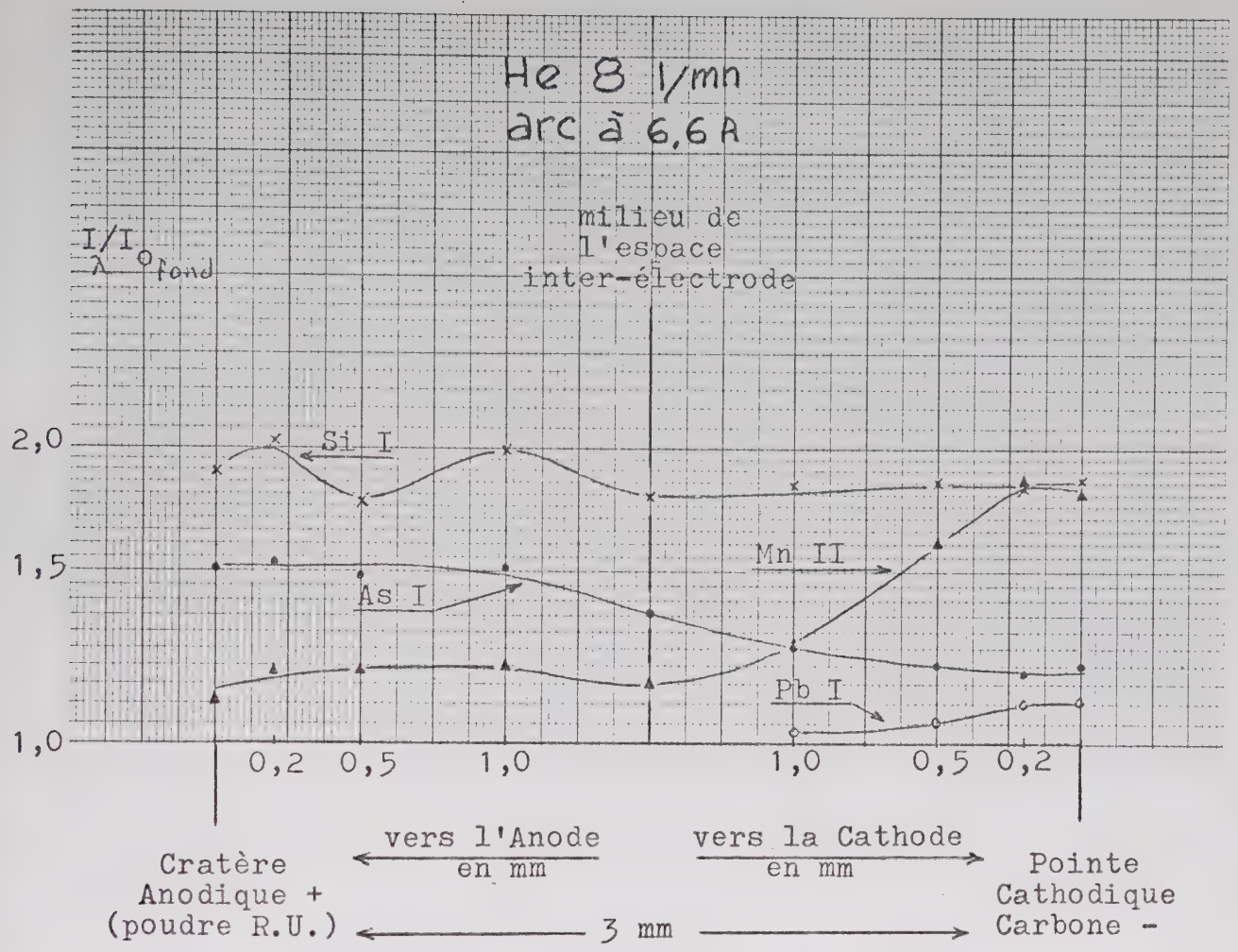
Figure 31



- Mg I 2783 Å 7,14 eV $\bar{\nabla} = 3,5$ (+).
- ▲ Mg II 2790 Å 16,44 eV $\bar{\nabla} = 2,8$
- o Zn I 3035 Å 8,11 eV $\bar{\nabla} = 5,2$
- × Ca II 3158 Å 13,14 eV $\bar{\nabla} = 4,6$

(+) $\bar{\nabla}$: coefficient de variation moyen pour la courbe. Ce coefficient est la moyenne arithmétique des 9 coefficients des 9 points de la courbe.

Figure 32



●	As	I	2349 Å	6,60 eV	$\bar{\nu}$ = 7,6
▲	Mn	II	2576 Å	12,20 eV	$\bar{\nu}$ = 5,3
o	Pb	I	2833 Å	4,36 eV	$\bar{\nu}$ = 3,0
×	Si	I	2881 Å	5,06 eV	$\bar{\nu}$ = 6,8

TABLEAU IX

ATMOSPHERE ARGON

Cathode : CARBONE

Anode : CARBONE TAILLE EN CRATERE + POUDRE R.U.

Les valeurs sont: $\log (I_{\lambda} / I_{fond})$

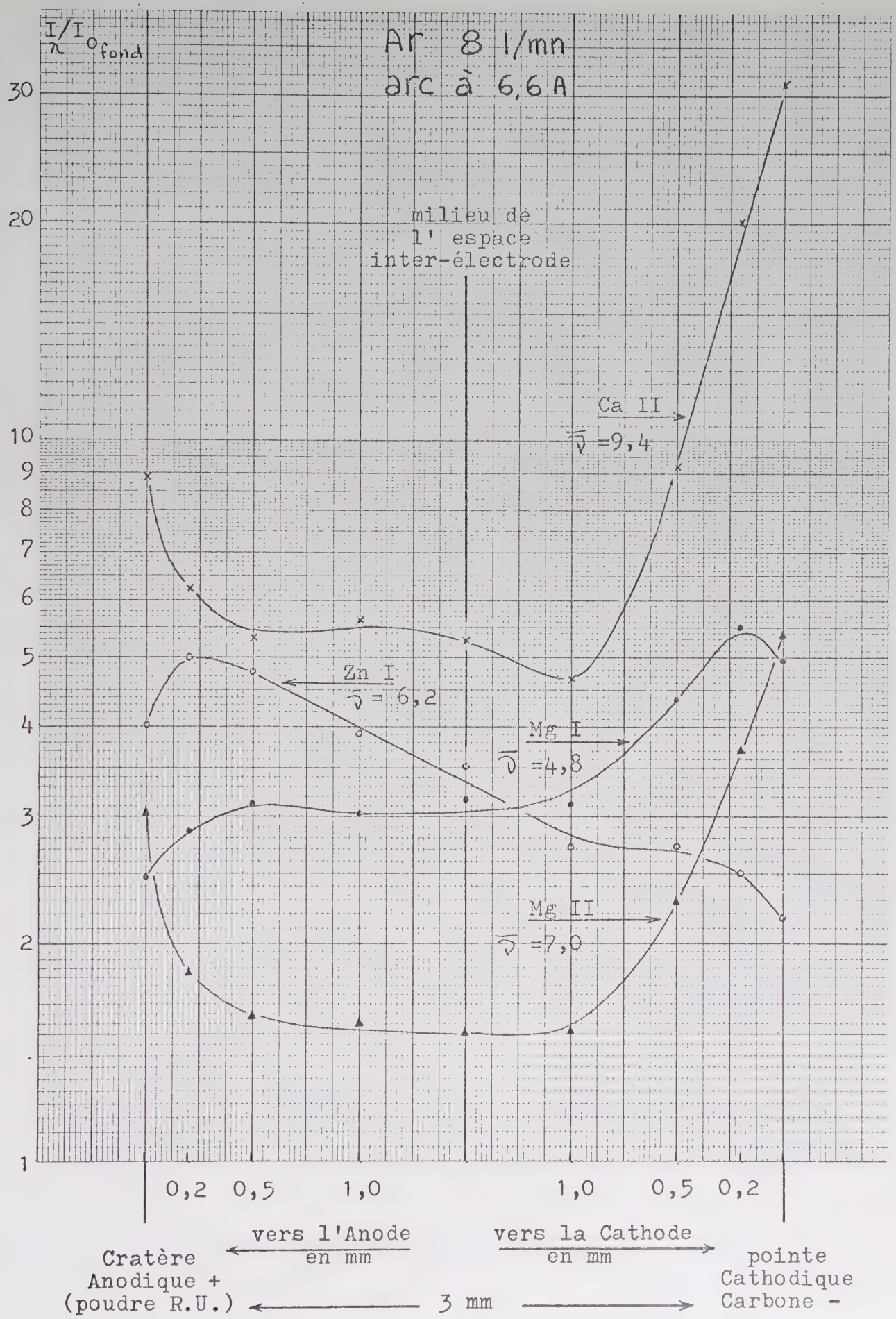
λ ELEMENTS	eV	Cratère Anodique + (Poudre R.U.)	← vers Cratère + en mm			Milieu de l'espace inter-électrode	vers Cathode- en mm →			Pointe Cathodique CARBONE -
			0,2	0,5	1,0		1,0	0,5	0,2	
Be I 2348,61	5,25	3,91	4,10	3,92	4,02	3,40	2,66	2,85	2,49	1,98
As I 2349,84	6,60	2,38	2,56	2,52	2,46	2,02	1,69	1,60	1,44	1,26
B I 2497,22	4,94	2,68	2,79	2,61	2,40	2,08	1,66	1,70	1,49	1,20
Si I 2516,10	4,93	6,72	8,63	8,41	9,10	7,15	4,45	6,42	4,85	2,72
P I 2535,65	7,18	2,77	2,80	2,38	2,11	1,70	1,35	1,34	1,27	1,09
Hg I 2536,51	4,87	1,25	1,43	1,39	1,49	1,25	1,17	1,11	1,06	1,02
ZnII 2557,95	20,34	-	-	-	-	-	-	-	-	1,03
MnII 2576,10	12,20	1,92	2,15	2,26	2,32	2,28	2,28	3,54	4,74	4,45
MnII 2593,73	12,16	1,74	1,90	2,01	2,05	2,00	2,01	3,01	3,98	3,70
Sb I 2598,09	5,97	1,83	2,06	2,13	1,91	1,75	1,52	1,55	1,46	1,27
Zn I 2756,45	8,50	4,25	5,78	5,75	4,61	4,08	3,09	3,13	3,10	2,26
Mg I 2782,97	7,14	2,49	2,88	3,14	3,04	3,17	3,12	4,39	5,50	4,95
MgII 2790,76	16,44	3,05	1,84	1,58	1,55	1,51	1,52	2,29	3,70	5,38
Pb I 2833,06	4,36	1,11	1,17	1,23	1,23	1,24	1,23	1,35	1,52	1,52
Sn I 2839,99	4,77	1,12	1,13	1,15	1,12	1,12	1,09	1,18	1,25	1,20
Si I 2881,59	5,06	8,13	9,72	9,28	9,52	7,82	4,93	7,05	5,50	3,70
Ca I 3006,85	6,02	1,32	1,37	1,52	1,48	1,51	1,57	1,72	2,01	2,22
Zn I 3035,78	8,11	4,02	5,00	4,78	3,92	3,52	2,74	2,74	2,50	2,19
Al I 3082,16	4,02	1,52	1,61	1,85	1,84	1,97	2,04	2,43	2,76	2,45
CaII 3158,87	13,14	8,89	6,22	5,32	5,62	5,27	4,65	9,18	20,00	31,30
Cu I 3273,96	3,80	2,70	3,51	4,08	3,43	3,25	4,03	3,09	2,86	3,49
C I 2478,55	7,65	1,85	2,31	1,95	1,57	1,52	1,72	1,60	1,98	3,34
C II 2509,11	29,78	-	-	-	-	-	-	-	-	1,03
C II 2512,03	29,77	-	-	-	-	-	-	-	-	1,08
C II 2836,71	27,46	-	-	-	-	-	-	-	-	1,24

Chaque valeur relevée est moyenne de dix mesures du rapport:

$$\log(I_{\lambda \text{ élément}} / I_{fond})$$

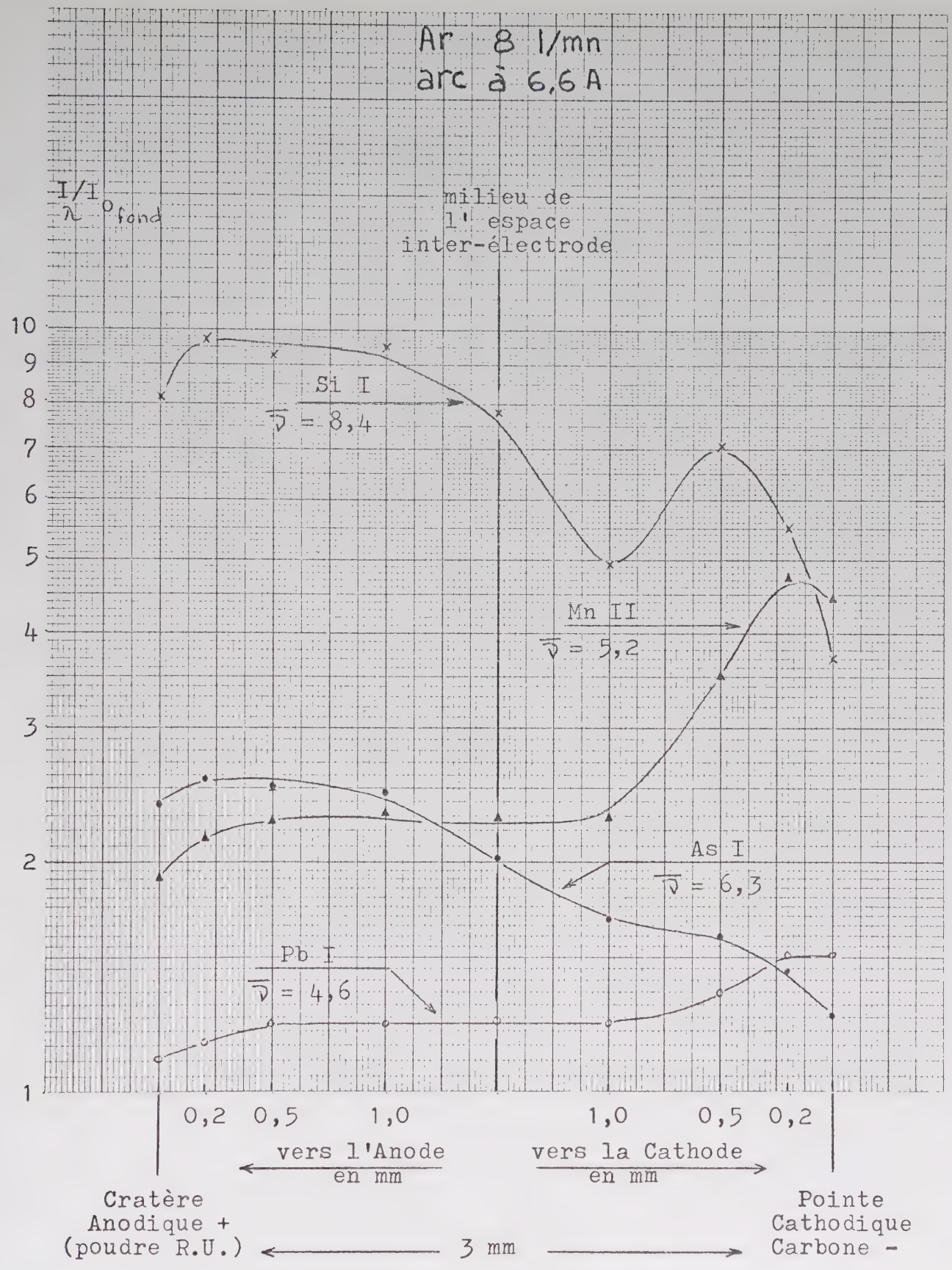
l'utilisation de ce rapport necessite une correction de fond au niveau de chaque raie. La moyenne des coefficients de variation de chacune des raies utilisées pour le traçage des courbes est indiquée dans les figures.

Figure 33



(+)Les raies sont les mêmes que celles des courbes Hélium

Figure 34



(+)Les raies sont les mêmes que celles des courbes Hélium.

TABLEAU X

ATMOSPHERE AIR

Cathode : CARBONE

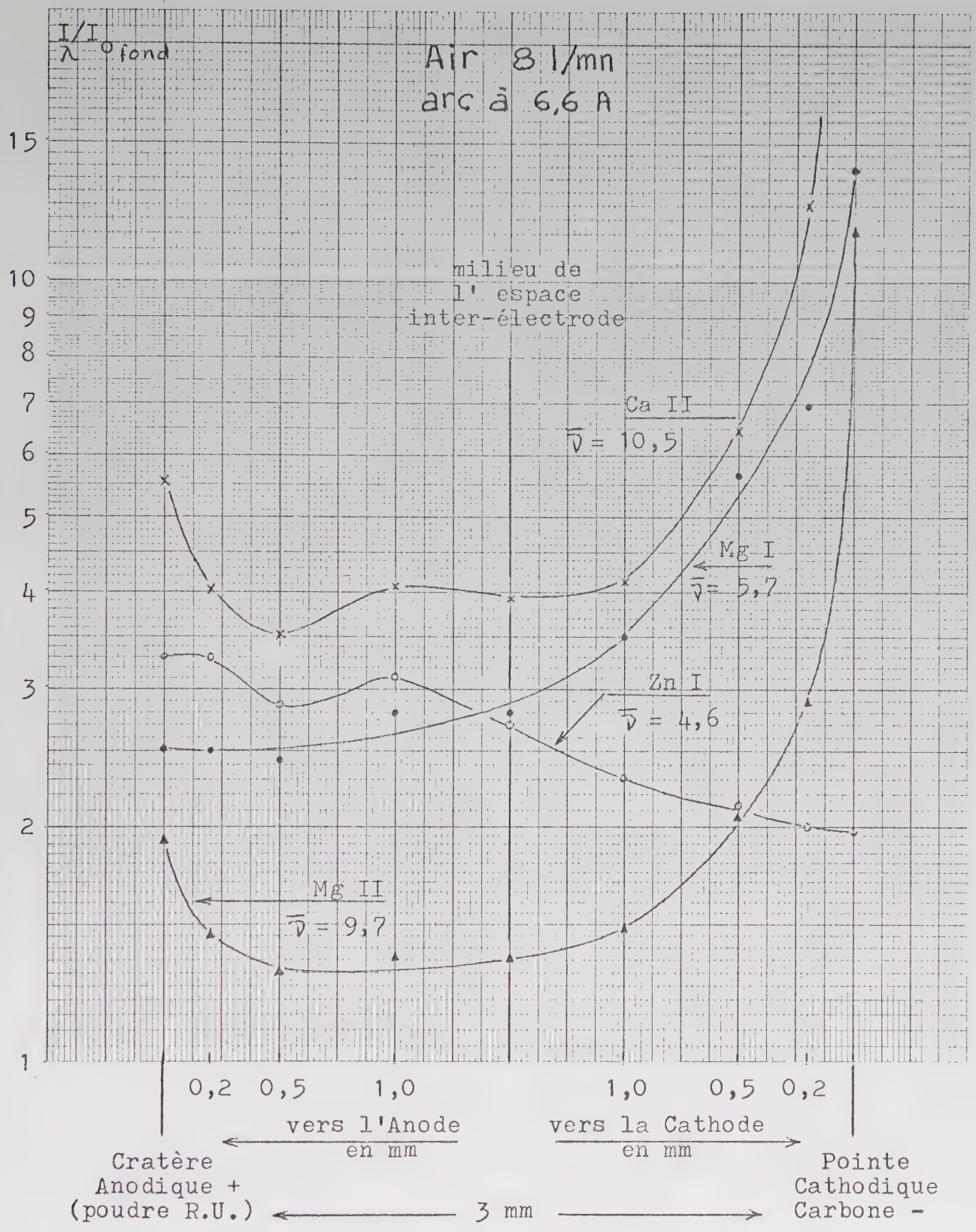
Anode : CARBONE TAILLE EN CRATERE + POUDRE R.U.

Les valeurs sont: $\log (I_{\lambda} / I_{fond})$

λ ELEMENTS	eV	Cratère Anodique + (Poudre R.U.)	← vers Cratère+ en mm			Milieu de l'espace inter-électrode	vers Cathode- en mm →			Pointe Cathodique CARBONE -
			0,2	0,5	1,0		1,0	0,5	0,2	
Be I 2348,61	5,25	3,47	3,58	3,03	3,50	3,27	2,83	2,74	2,38	2,13
As I 2349,84	6,60	1,84	1,90	1,73	1,83	1,62	1,42	1,32	1,25	1,18
B I 2497,22	4,94	2,66	2,58	2,45	2,22	1,95	1,71	1,57	1,44	1,29
Si I 2516,10	4,93	6,22	7,25	4,72	6,76	6,22	6,22	6,17	4,65	4,52
P I 2535,65	7,18	2,62	2,34	1,91	1,91	1,65	1,39	1,25	1,19	1,14
Hg I 2536,51	4,87	1,13	1,18	1,13	1,16	1,09	1,06	1,02	1,02	-
MnII 2576,10	12,20	1,76	1,81	1,64	1,93	1,93	2,18	3,28	4,25	5,89
MnII 2593,73	12,16	1,61	1,64	1,50	1,72	1,72	1,92	2,84	3,59	4,88
Sb I 2598,09	5,97	1,69	1,75	1,53	1,66	1,52	1,45	1,39	1,26	1,28
Zn I 2756,45	8,50	3,44	3,81	3,05	3,60	3,08	2,61	2,41	2,25	2,13
Mg I 2782,97	7,14	2,52	2,50	2,44	2,80	2,80	3,50	5,65	6,95	13,90
MgII 2790,76	16,44	1,93	1,46	1,30	1,37	1,36	1,48	2,05	2,88	11,64
Pb I 2833,06	4,36	1,10	1,11	1,08	1,12	1,12	1,20	1,33	1,58	1,72
Sn I 2839,99	4,77	1,04	1,05	1,03	1,04	1,05	1,16	1,36	1,30	1,66
Si I 2881,59	5,06	8,07	8,93	5,92	7,94	8,34	7,58	7,58	5,75	5,99
Ca I 3006,85	6,02	1,33	1,34	1,26	1,37	1,35	1,61	1,86	2,40	4,12
Zn I 3035,78	8,11	3,32	3,34	2,86	3,12	2,70	2,32	2,14	2,00	1,98
Al I 3082,16	4,02	1,56	1,62	1,51	1,74	1,75	2,24	2,84	3,17	5,38
CaII 3158,87	13,14	5,53	4,02	3,51	4,08	3,94	4,13	6,45	12,50	↗
Cu I 3273,96	3,80	2,49	3,12	2,74	3,11	2,91	3,71	4,05	3,44	3,88

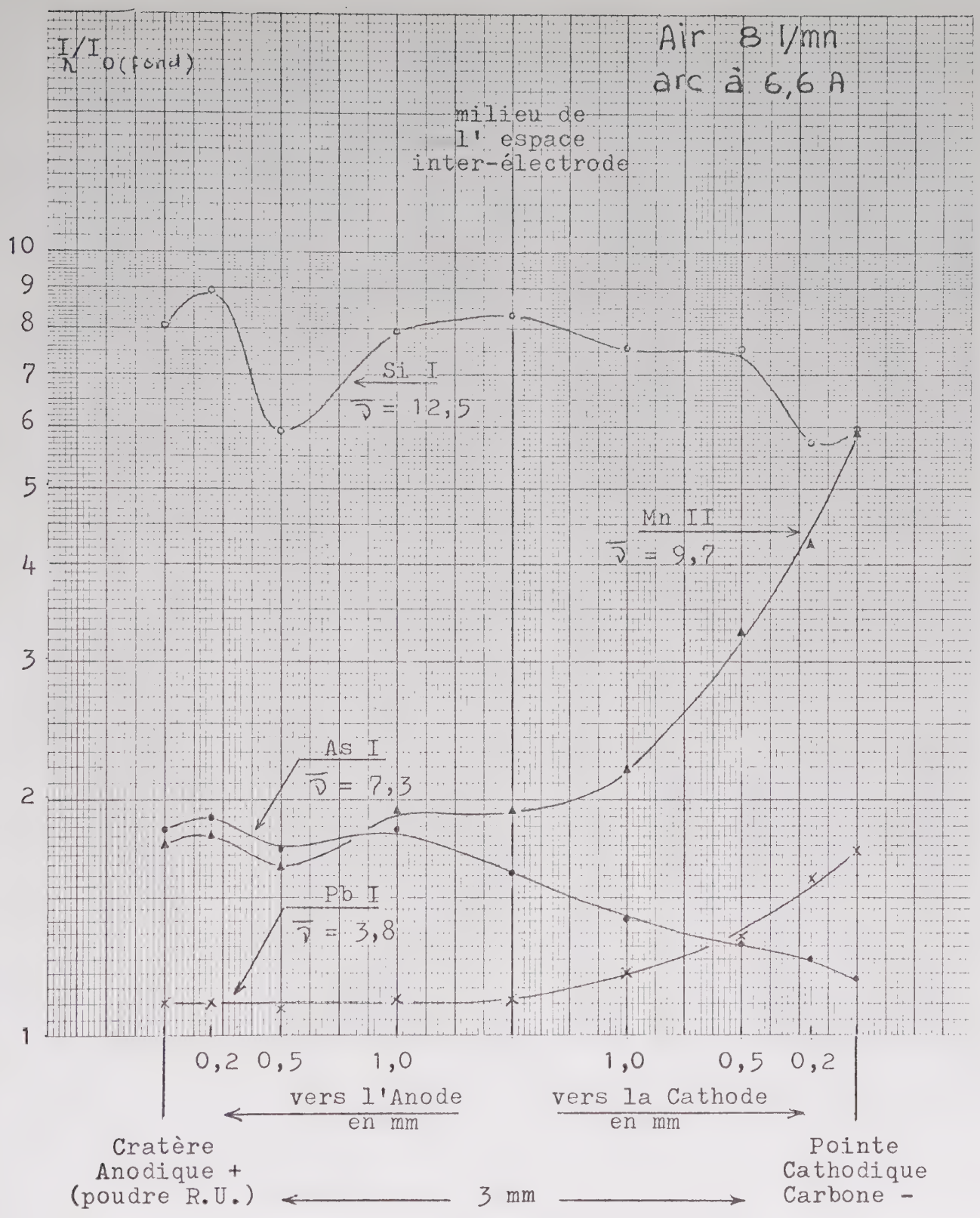
A la POINTE CATHODIQUE très faible apparition des raies C II
↑ 30eV

Figure 35



(+) Les raies sont les mêmes que celles des courbes Hélium.

Figure 36



(+)Les raies sont les mêmes que celles des courbes Hélium.

Pour les autres éléments: arsenic, béryllium, bore, phosphore, antimoine, les intensités de leurs raies diminuent de plus en plus en s'éloignant du cratère anodique. Quant au silicium, les intensités de ses raies semblent être homogènes tout le long de la colonne de décharge. Les raies des manganèse, plomb, étain, aluminium, cuivre, argent se renforcent de plus en plus à l'approche de la cathode pour devenir très intenses à la pointe de cette dernière.

Nous observons également une émission des raies C III de 54 eV et C II de 30 eV du carbone, uniquement dans la zone de la pointe du carbone cathodique. A 0,2 mm de cette pointe, les raies C II de 30 eV sont à la limite des mesures densitométriques. Quant à la raie C III de 54 eV, elle a complétement disparu.

En atmosphères argon et air, les schémas de décharges apportent les mêmes observations que pour le schéma en atmosphère hélium.

Il semble que LES RAIES DE HAUTS POTENTIELS D'EXCITATION SONT PLUS INTENSES AU VOISINAGE DE LA CATHODE ALORS QUE LES RAIES DE BAS POTENTIELS D'EXCITATION SERAIENT PLUS INTENSES AU VOISINAGE DU CRATERE ANODIQUE.

Une série d'expériences analogues d'exploration zone par zone a également été effectuée en remplaçant la cathode en carbone par une cathode en cuivre. Les résultats sont sensiblement les mêmes que ceux obtenus avec une cathode en carbone. Les intensités maximums des raies de hauts potentiels d'excitation se trouvent toujours dans la zone de la pointe de la cathode.

CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE

La comparaison des courbes des intensités spectrales des raies émises, du cratère anodique vers la pointe de la cathode (fig. 31 à 36) avec celles des températures, également du cratère anodique vers la pointe cathodique (fig. 30) est difficile.

IL SEMBLE QU'A 6,6 AMPERES, LA REPARTITION DANS LA COLONNE DE DECHARGE DES INTENSITES DES RAIES SPECTRALES DES ELEMENTS CONTENUS DANS LE CRATERE ANODIQUE NE SUIVE PAS LA REPARTITION PRESQUE HOMOGENE DE LA TEMPERATURE (DU CRATERE ANODIQUE VERS LA POINTE CATHODIQUE), QUEL QUE SOIT LE GAZ UTILISE.

C O N C L U S I O N

Par utilisation du dispositif expérimental type "tourbillon" (vortex) et en observant les phénomènes au travers de gaz chauds, nous avons:

Dans la première partie de nos expériences, simplifié le plasma de décharge en utilisant un couple d'électrodes en matériaux ultra-pur: CUIVRE / CARBONE, alternativement CATHODE et ANODE.

En effectuant des décharges de différentes intensités et sous différentes atmosphères, nous avons comparé les intensités des raies I et II du cuivre lorsque le cuivre est cathodique, aux intensités de ces mêmes raies du cuivre lorsque le cuivre est anodique.

Cette comparaison semble montrer que:

1) pour les raies Cu II de l'ordre de 20 eV, QUELS QUE SOIENT LES GAZ OU LES INTENSITES DES ARCS UTILISES, ELLES SONT TOUJOURS PLUS INTENSES LORSQUE LE CUIVRE EST MIS A LA CATHODE.

2) pour les raies Cu II de l'ordre de 16 eV et Cu I de 5 à 7 eV: de 4,5 à 8,6 ampères, ELLES SONT PLUS INTENSES QUAND LE CUIVRE EST MIS A LA CATHODE. Par contre, avec les arcs de 12,8 et 18,5 ampères, ELLES SONT PLUS INTENSES QUAND LE CUIVRE EST MIS A L'ANODE. Ceci quel que soit le gaz.

3) pour les raies du carbone:
Quand le carbone est anode, seule la raie C I apparait.
Quand le carbone est cathode, toutes les raies: C I, II et III apparaissent en atmosphère hélium et argon. En atmosphère air, la raie C III n'est pas visible.

Dans la deuxième partie de notre travail, nous avons choisi un arc de 6,6 ampères pour étudier les zones cathodique et anodique de la colonne de décharge, sous différentes atmosphères. La comparaison des intensités des raies Cu I, II du cuivre émises dans la zone cathodique lorsque le cuivre est à la polarité cathodique aux intensités de ces mêmes raies du cuivre émises dans la zone anodique quand le cuivre est à l'anode, conduit aux mêmes résultats que dans la première partie du travail: à savoir que les intensités des raies du cuivre sont importantes quand le cuivre est cathodique.

Cette émission plus importante de l'élément formant la cathode nous conduit à effectuer une série d'essais ayant pour but de déceler son influence éventuelle sur l'émission des raies spectrales des éléments introduits dans un cratère anodique en carbone et également suivre les émissions de ces derniers par une exploration de la colonne de décharge, zone par zone, du cratère anodique vers la pointe cathodique.

Ces expériences semblent montrer que:

1) la répartition des températures, du cratère anodique vers la pointe cathodique est assez homogéne dans les atmosphères argon et air. En atmosphère hélium, il semble que la température de la pointe cathodique est supérieure à celle du cratère anodique.

2) les raies de hauts potentiels d'excitation des éléments contenus dans le cratère anodique sont très intenses aux voisinages de la cathode.

3) les raies de bas potentiels d'excitation des éléments contenus dans le cratère anodique sont intenses aux voisinages du cratère anodique ou sont réparties avec des intensités assez voisines, du cratère anodique vers la pointe cathodique.

En conséquence: pour la détection des traces d'impuretés en vue de leurs dosages quantitatives par arc:

Cas d'un <u>échantillon massif et conducteur</u>:

Puisque la zone cathodique est la plus sensible, quel que soit le gaz utilisé, nous pensons qu'il y a avantage de mettre l'échantillon sous forme de baguette terminée en pointe de 60° et à l'utiliser comme cathode. La zone d'observation sera également la zone de la pointe cathodique. L'anode sera en carbone taillée dans les mêmes dimensions.

Cas d'un <u>échantillon non conducteur</u> (massif ou en poudre)

Cet échantillon sera broyé, mélangé en proportion convenable à de la poudre de graphite et d'un éventuel "diluant"(°). Le tout homogénéisé constituera la charge d'un cratère anodique en carbone. Dépendant de l'élément recherché, la cathode sera en carbone ou en cuivre de Ø 7 mm, taillée en pointe à 60°.

(°) il est défini comme:"substance dont l'addition ou la présence tend à minimiser les effets d'un ou de plusieurs éléments sur l'émission des autres éléments". A.S.T.M. op. cit.

On a l'habitude d'intercaler un diaphragme entre la source lumineuse et la fente d'entrée du spectrographe. Ce diaphragme a pour but de masquer les électrodes, "empêchant le noircissement de la plaque photographique dû à l'incandescence de ces dernières."(°) La zone visée correspond donc à ce que nous désignions par "zone du milieu de l'espace inter-électrodes". Ayant mis en évidence que cette zone est la moins sensible, nous pensons qu'il serait préférable d'éliminer le diaphragme et enregistrer la totalité de la colonne de décharge, y compris les zones du cratère anodique et de la pointe cathodique.

(°) Dans nos conditions d'arc de 6,6 A, 3 mm et 1 atm., les intensités du fond continu sont faibles et sont presque équivalentes d'un spectre à l'autre, même quand les bouts incandescents des électrodes sont visés tel le cas des zones du cratère anodique malgré que sa température, mesurée par VALLEE et al.(-)(+), et plus récemment par BRILL(x), soit de l'ordre de 1500° C(*).

(-) VALLEE B.L., BAKER M.R."Anode temperatures and characteristics of D.C.arc in noble gases".(3 à 15 A en He,Ne,Ar,Kr à 1 atm)
J.O.S.A. 46, 77, 1956

(+) VALLEE B.L., THIERS R.E."Effect of alkali and alkaline earth chlorides on the anode temperature of the D.C.arc".
J.O.S.A. 46, 83, 1956

(x) BRILL J."Contribution à l'étude des phénomènes thermochimiques accompagnant la volatilisation des substances mises en oeuvre dans l'arc spectrographique.-Cas des mélanges oxydes-graphite."(arc: 4 à 13 A dans l'air à 1 atm.)
Spectrochim. Acta 23B, 375, 1968

(*) EULER(⊥) et JAYROE(=) ont trouvé 4000K pour la tâche anodique d'une anode en carbone taillée en pointe.

(⊥) EULER J."Die axiale temperaturverteilung im inneren der anode des kohlebogens und das wärmeleitvermögen von graphit bei hohen temperaturen".(arc: 8 à 10 A dans l'air à 1 atm.)
Ann. Physik 18, 345, 1956

(=) JAYROE R.R., FOWLER R.G."Carbon arc in a controlled atmosphere as a radiation standard".(arc: 12 à 17 A, en Ar,N_2, air à 1 et 5 atm.)
J.O.S.A. 57, 513, 1967

La reproductibilité de nos mesures (représentée par des barres d'erreurs sur les courbes ou par $\bar{\nu}$ moyen) est rendue possible grâce à la stabilité de la source, à la reproductibilité dans les manipulations de traitements des plaques photographiques (développement, fixage, séchage), au contrôle rigoureux de la pente de la caractéristique de l'émulsion (variation presque nulle), et enfin, grâce à l'élimination des causes d'erreurs dues aux variations dans le temps de l'ambiance du laboratoire, en maintenant d'une expérience à l'autre une reproductibilité rigoureuse de la pression et du degré de siccité du gaz entourant la colonne de décharge par emploi d'un courant gazeux sec (point de rosé $\leqslant$-60° C) et à débit constant de 8 l/mn.

D'autre part, le dispositif "tourbillon" stabilise la flamme de l'arc et tend également à abaisser quelque peu la température de l'anode(°)(+) procurant une amélioration de la reproductibilité et de la détection des traces d'impuretés.

--oo0Oo--

(°) STALLWOOD B.J."Air-cooled electrodes for spectrochemical analysis of powders".
J.O.S.A. 44, 171, 1954

(+) MARGOSHES M., SCRIBNER B.F."Simple arc devices for spectral excitation in controlled atmospheres".
Applied Spectrosc. 18, 154, 1964

- A N N E X E -

Méthode de CHURCHILL J.R. du tracé de la caractéristique(°).

Principe: La courbe de calibrage est tracée d'après une courbe préliminaire, construite à l'aide des mesures densitométriques des parties filtrées et non-filtrées de plusieurs raies.

Mode opératoire:Aprés avoir placé devant la fente du spectrographe un filtre calibré à 2 échelons (celui que nous utilisons est à 100 et 50 % de transmission), on enregistre un spectre (en général, un spectre du fer: Norme ASTM E 116 - 59 T).

Des mesures au densitomètre sont effectuées sur la partie filtrée et non-filtrée de chacune des raies dont la gamme des transparence est comprise entre 3 à 97 %, en choisissant des groupes de raies entre 2500 à 2600 Å et entre 3000 à 3200 Å.

La courbe préliminaire (fig. a) est tracée sur papier millimétré en portant:

en abscisses: la transparence des raies filtrées
en ordonnées: la transparence de ces mêmes raies non-filtrées.

Soit une transparence a sur l'axe des ordonnées, obtenue avec une intensité lumineuse I. La courbe préliminaire permet de trouver la transparence b qui aurait été obtenue avec une intensité I.r (r: transparence du filtre utilisé).

Si la valeur de la transparence b est rapportée sur l'axe des ordonnées, la courbe préliminaire donne une nouvelle transparence c sur l'axe des abscisses, qui aurait été obtenue avec une intensité lumineuse $I.r^2$.

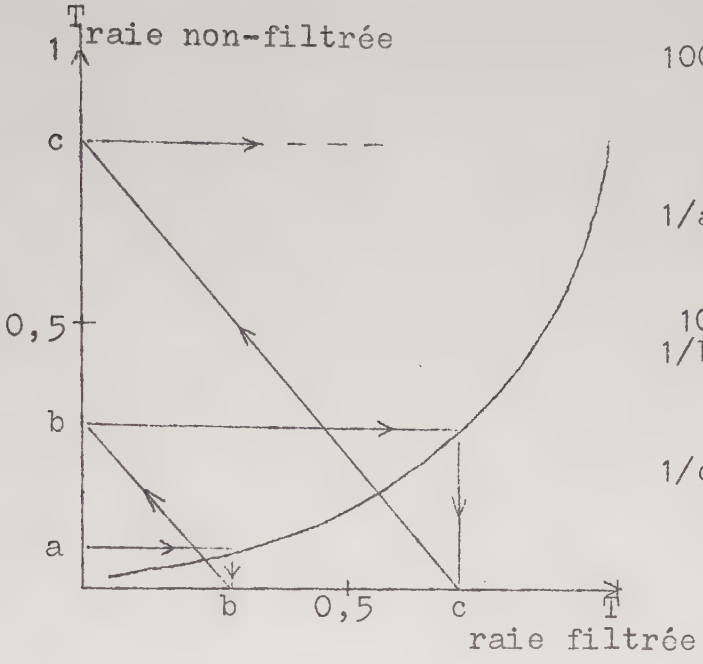
Opérant de proche en proche, on obtient une série de valeurs de la transparence correspondant à des intensités lumineuses qui varient entre elles suivant une progression géomètrique de raison r.

(°) cours du G.A.M.S."Cycle de perfectionnement pour techniciens." (G.A.M.S.: Groupement pour l'Avancement des Méthodes Spectrographiques)

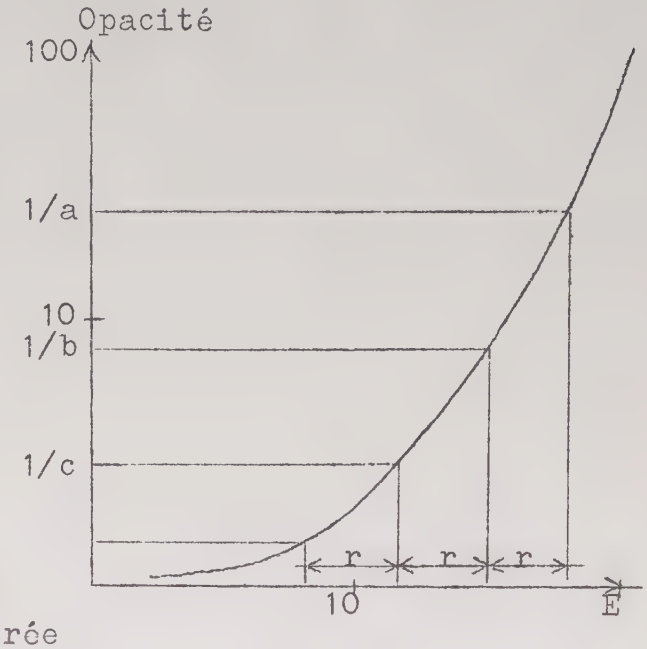
La courbe de calibrage de l'émulsion (fig. b) est tracée sur papier logarithmique en portant:

en abscisses: à partir d'une origine arbitraire, des puissances croissantes de r

en ordonnées: les opacités $\frac{1}{a}$, $\frac{1}{b}$, $\frac{1}{c}$, ...



(fig. a)



(fig. b)

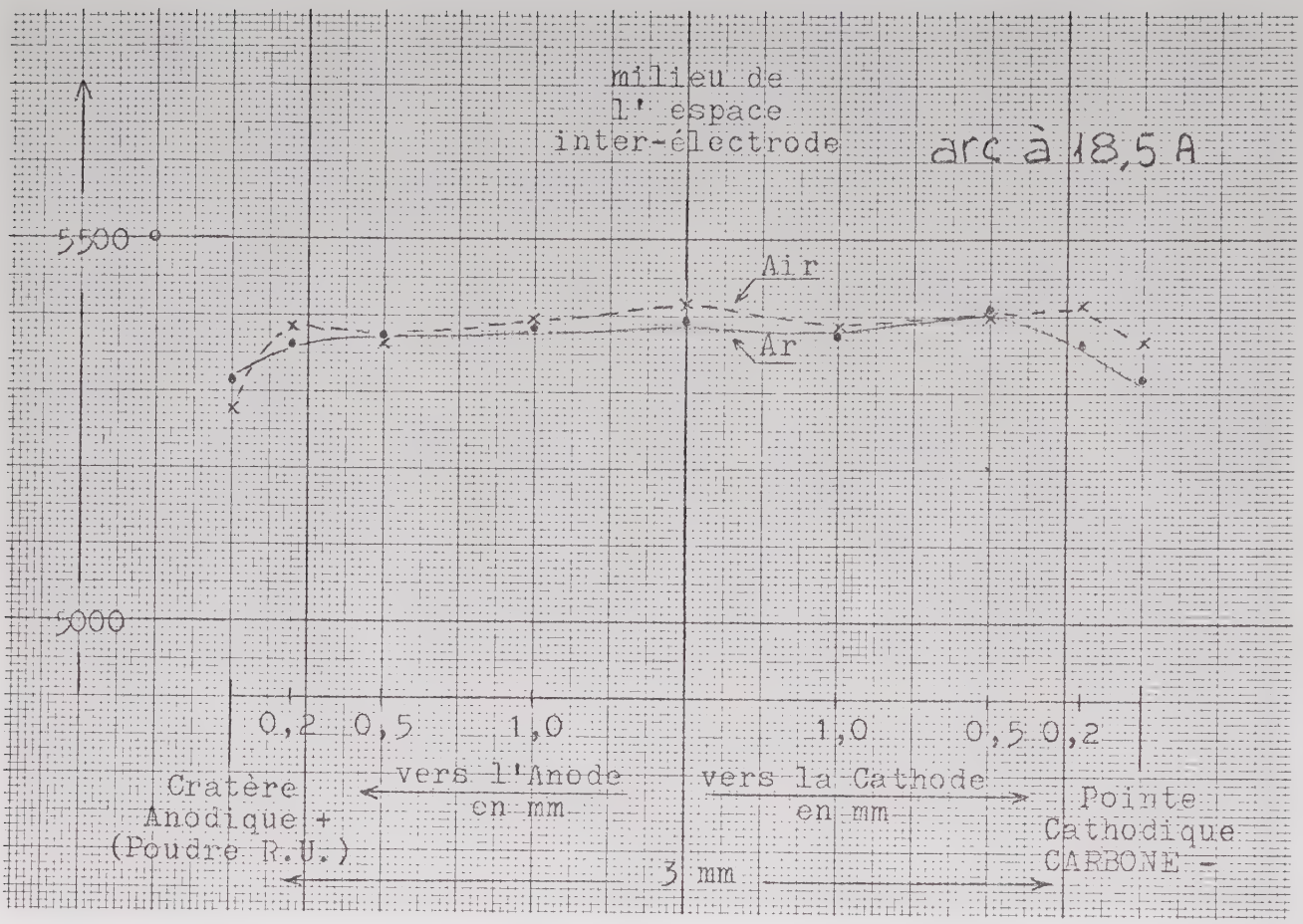
TEMPERATURES ...

Notre but n'est pas celui de déterminer avec exactitude les différentes températures atteintes dans les différentes zones de l'arc à courant continu. Les températures sont calculées et prises pour telles sans que nous ne tenions compte de l'effet matrice (ici poudre de graphite) qui jouerait certainement un grand rôle dans la répartition thermique au sein de la colonne de décharge(°).Les valeurs que nous avions obtenues ne doivent être prises que comme valeurs arbitraires nous permettant uniquement de tracer le "schéma de la répartition thermique" du cratère anodique vers la pointe de la cathode.

(°) non E.T.L.

voir par exemple: pour l'effet carbone (67),(68) et pour l'équilibre thermodynamique (34),(37),(39),(64),(71)

Figure 37



Les températures sont calculées à partir de la moyenne des dix mesures de ΔY

où $\Delta Y = \log I_{3076} / I_{3282}$

TABLEAU XI

ATMOSPHERE ARGON

Cathode: CARBONE
Anode : CARBONE TAILLE EN CRATERE + POUDRE R.U.

Couple de raies: Zn I 3076 Å 4,01 eV
Zn I 3282 Å 7,75 eV

$$\log I_{3076} / I_{3282} = \Delta Y_{3282}^{3076}$$

COLONNE DE DECHARGE	ΔY_{moyen} (+)	K_{moyen}
1) CRATERE ANODIQUE	0,289	5314
2) 0,2 mm du " "	0,257	5362
3) 0,5 mm du " "	0,248	5376
4) 1,0 mm du " "	0,242	5385
5) Milieu de l'espace inter-électrode	0,235	5396
6) 1,0 mm de la Cathode	0,248	5376
7) 0,5 mm de la "	0,232	5401
8) 0,2 mm de la "	0,256	5364
9) POINTE CATHODIQUE	0,286	5318

(+) ΔY_{moyen} : moyenne de dix mesures. Les variations de ΔY sont comparables aux variations obtenues avec l'arc à 6,6 ampères. Puisque la répartition thermique semble être homogène, la température moyenne de cet arc au Carbone à 18,5 ampères, sous atmosphère Argon à 8 l/mn + vapeurs des éléments de la poudre R.U. serait de l'ordre de 5365 K.

TABLEAU XII

ATMOSPHERE AIR

Cathode: CARBONE

Anode : CARBONE TAILLE EN CRATERE + POUDRE R.U.

Couple de raies: Zn I 3076 Å 4,01 eV

Zn I 3282 Å 7,75 eV

$$\log I_{3076} / I_{3282} = \Delta Y_{3282}^{3076}$$

COLONNE DE DECHARGE	ΔY_{moyen}(+)	K_{moyen}
1) CRATERE ANODIQUE	0,314	5277
2) 0,2 mm du " "	0,243	5382
3) 0,5 mm du " "	0,257	5362
4) 1,0 mm du " "	0,235	5396
5) Milieu de l'espace inter-électrode	0,220	5419
6) 1,0 mm de la Cathode	0,240	5388
7) 0,5 mm de la "	0,229	5405
8) 0,2 mm de la "	0,222	5416
9) POINTE CATHODIQUE	0,256	5364

(+) ΔY_{moyen} : moyenne de dix mesures. Les variations de ΔY sont comparables aux variations obtenues avec l'arc à 6,6 ampères . Tout comme pour l'atmosphère Argon, en atmosphère Air, la répartition thermique semble être également homogène. La température moyenne de cet arc au Carbone à 18,5 ampères, sous atmosphère Air à 8 l/mn + vapeurs des éléments de la poudre R.U. serait de l'ordre de 5380 K.

Cependant, ayant remarqué dans nos conditions de décharge de 6,6 ampères que les diverses températures atteintes dans les diverses zones de l'espace inter-électrodes en atmosphère air sont presque identiques à celles atteintes en atmosphère argon, nous avons procédé à une série d'expériences supplémentaires, de contrôle, en effectuant la mesure des températures d'un ARC DE 18,5 AMPERES. L'intensité de cet arc ne permet pas encore de différencier les températures atteintes en atmosphère argon de celles atteintes en atmosphère air. Seule une légère augmentation des températures, pour les deux gaz, environ 200 K est enregistrée (tableauxXI - XII, fig. 37)

La température exacte d'un arc est difficile à déterminer. Nous avons noté p. 33, en nous reférant aux travaux de CORLISS au N.B.S., la dispersion des résultats due aux choix de différentes valeurs des (gA) ou (gf). Par exemple, pour les mêmes intensités, l'utilisation de deux valeurs différentes de (gf) pour le vanadium V I, a conduit à une différence de 700 K entre la température calculée à Pasadena de celle calculée à Léningrad.

Le choix de l'espèce thermométrique et du couple de raies sont également de grande importance. MARGOSHES et SCRIBNER(°) ont trouvé pour un même arc sous atmosphère argon, des valeurs de températures variant entre 5510 et 7470 K (5510 K avec un couple de raies Fe I et 7570 K avec un couple Ti II).

Nous notons finalement quelques travaux antérieurs à 1946 relevés par MASON(+) concernant les températures des arcs au carbone ou au cuivre mesurées à l'aide de diverses méthodes:

(°) MARGOSHES M., SCRIBNER B.F."A study of gas-stabilized arc as an emission source for the measurement of oscillator strengths Determination of some relative gf-values for Fe I."
J. Res. Nat. Bur. Std. 67A, 561, 1963

(+) MASON R.C."Some properties of gas discharges used as spectral source."
A.S.T.M. Spec. Tech. Publ. nº 76, 25, 1948

Ainsi, des valeurs de 4050 K pour des arcs de 3 à 26 ampères entre électrodes en cuivre, 6160 K pour l'arc à 43 ampères entre électrodes carbone/aluminium et 6440 K pour l'arc à 25 ampères entre électrodes en tungstène, sont trouvées quand les températures sont mesurées à l'aide de la vitesse du son dans l'arc: la vitesse du son à travers un gaz est inversement proportionnelle à la racine carrée de la densité du gaz, donc, les températures peuvent être calculées à partir des déterminations de vitesses (SUITS C.G. 1935).

Une valeur de 4650 K a été trouvée pour des arcs de différentes longueurs et avec une intensité de 2 ampères. Cette température a été calculée à partir des mesures de la densité du gaz à l'aide de rayons X mous: absorption de particules rapides (Von ENGEL A., STEENBECK M. 1931).

Si les températures sont directement mesurées à l'aide des intensités des bandes du cyanogène, les valeurs trouvées sont de 6300 à 7000 K (respectivement pour des arcs de 1 à 13 ampères) pour des arcs de longueurs inférieures à 1 cm et entre électrodes en carbone (BRINKMAN H. 1937).

La connaissance de la température exacte du plasma d'arc quoique importante, n'est heureusement pas une necessité absolue pour le spectrographiste. Une valeur approchée est suffisante pour lui permettre de choisir un"tampon spectrographique"(°) adéquat qui maintiendrait une température stable de l'arc (donc régularité) pour une méthode d'analyse donnée.

(°) "tampon spectrographique", "entraineur" ou "diluant".
voir p. 38 la définition donnée par l'A.S.T.M.

Les effets des tampons (entraineurs ou diluants) sont étudiés notamment par: (35),(49),(65),(69),(76),(83).

Sur le couple Zn I 3282 /Zn I 3076

Le couple de raies du zinc utilisé en général pour la mesure des températures est:

Zn I 3072 Å de 8,04 eV et Zn I 3076 Å de 4,01 eV

Avec les valeurs des (gA) déterminées par SCHUTTEVAER et SMIT(°) on obtient le rapport:

$$(gA)_{3072} / (gA)_{3076} = 723$$

Par contre, déduit des tables de Van HENGSTUM et SMIT(-), ce rapport est de 450. Finalement, SOMERS et SMIT(+) ont abouti à la valeur de 380. Cette dernière, vérifiée par de nombreux auteurs, a été reconnue comme la"meilleure".

Par suite de l'imprecision dans les mesures due à la trop grande différence entre les densités optiques de ces deux raies dans les "basses températures", De GALAN(x)(*) a suggéré l'utilisation du couple Zn I 3282 Å /Zn I 3076 Å pour la mesure des températures inférieures à 5500 K. Il a calculé et obtenu pour ce nouveau couple:

$$(gA)_{3282} / (gA)_{3076} = 1810$$

en se basant sur le rapport $(gA)_{3072} / (gA)_{3076} = 380$

(°) SCHUTTEVAER J.W., SMIT J.A."The relative probabilities of transition in the zinc atom".
Physica 10, 502, 1943

(-) Van HENGSTUM J.P.A., SMIT J.A."Measurement of the optical transition probabilities of cadmium"
Physica 22, 86, 1956

(+) SOMERS P.J., SMIT J.A."Measurements on arc discharges in nitrogen at 1 atm and higher pressure".
Appl. Sci. Res. 6, Sect.B, 75, 1956

(x) De GALAN L."Particle distribution in the D.C.carbon arc".
Ph.D. Thesis, University of Amsterdam, 1965

(*) De GALAN L."Distribution of elements in the D.C.carbon arc".
J.Quant.Spectry Radiative Transfer 5, 735, 1966

BIBLIOGRAPHIE GENERALE

(classement par ordre alphabétique d'après le nom du premier auteur)

1 - ADCOCK B.D., PLUMTREE W.E.G.
"On the excitation temperature measurements in a plasma jet and transition probabilities for argon lines".
J. Quant. Spectry Radiative Transfer 4, 29, 1964

2 - ADDINK N.W.H.
"Determination of transition probability (reciprocal lifetime) of excited atoms and ions from spectrochemical data and the importance of lifetime values in spectrochemistry".
Spectrochim. Acta 15, 349, 1959

3 - ANDERMANN G., KEMP J.W.
"Effect of gaseous atmospheres on excitation".
A.S.T.M. Spec. Tech. Publ. n° 259, 23, 1959

4 - ATTIA H., TRICHE H.
"Contribution à l'étude de la répartition de l'émission dans l'arc électrique en courant continu".
C. R. Acad. Sc. t 265, série B, 27, 1967

5 - BAKER S.C.
"Spectroscopic estimation of D.C.arc electrode vapor jet velocities".
J.O.S.A. 54, 1204, 1964

6 - BAKER M.R., ADELSTEIN S.J., VALLEE B.L.
"Physical basis of line enhancement in argon and krypton".
J.O.S.A. 46, 138, 1956

7 - BARACH J.P.
"Spectrographic measurements on an arc discharge".
J. Appl. Phys. 38, 64, 1967

8 - BEINTEMA J.
"Volatilisation phenomena in the D.C.arc used as spectrochemical light source for the analysis of powders".
Spectrochim. Acta 11, 186, 1957

9 - BELOUSOVA I.M.
"Mecanism of formation of the equilibrium concentration of the electrode substance in the plasma of an arc discharge".
Opt. and Spectrosc. 13, 6, 1962

10 - BELOUSOVA I.M., GUREVICH D.B.
"The distribution of atoms among the excited levels in a low pressure arc".
Opt. and Spectrosc. 10, 206, 1961

11 - BIONDI M.A.
"Processus des collisions atomiques dans les décharges dans les gaz".
Applied Spectrosc. 11, 119, 1957

12 - BOUMANS P.W.J.M.
"Distribution des concentrations des vapeurs métalliques dans la flamme de l'arc"(°).
Spectrochim. Acta, p. 146, Mai 1956

13 - BRILL J.
"Sur la vitesse de transfert des particules arrachées aux électrodes d'un arc spectrographique au carbone".
C. R. Acad. Sc. t 265, série B, 1277, 1967

14 - BRILL J., DIEUDONNE H.
"Sur la participation des niveaux métastables de certains atomes au processus de leur excitation dans l'arc spectrographique sous pression normale de gaz monoatomique".
C. R. Acad. Sc. t 267, série B, 321, 1968

15 - BROOKS R.R., BOSWELL R.O.
"A comparison of cathode and anode excitation in the D.C.arc"
Anal. Chim. Acta 32, 339, 1965

16 - BUNGE K.
"Désintégration des matières dans l'étincelage. Expérimentation des cathodes en zinc".(°)
Spectrochim. Acta p. 133, Déc. 1957

17 - CHAMPION K.S.W.
"Radiation from gaseous arc".
Proc. Phys. Soc. 69B, 120, 1956

(°) texte traduit

18 - CH'EN SHANG YI, MAKOTO TAKEO
"Broadening and shift of spectral lines due to the presence of foreign gases".
Rev. Mod. Phys. 29, 20, 1957

19 - CORLISS C.H.
"Temperature of a copper arc".
J. Res. Nat. Bur. Std. 66A, 5, 1962

20 - CORLISS C.H.
"Ionisation in the plasma of a copper arc".
J. Res. Nat. Bur. Std. 66A, 169, 1962

21 - DIKHOFF J.M.A.
"Détermination des températures dans l'arc de carbone"(°).
Spectrochim. Acta p. 162, Mai 1956

22 - EATHER R.H.
"The silent and hissing D.C. electric arc".
Aust. J. Phys. 16, 228, 1963

23 - FARSKY R.
"Emploi d'atmosphères spéciales en analyse spectrale".
Hutnicke Listy 15, 7, 548, 1960
Traduction C.E.A. n° X 513, 2 Avril 1963

24 - FAIZULLOV F.S., SOBOLEV N.N.
"Determination of the effective cross section for collisions of excited barium ions with argon".
Opt. and Spectrosc. 11, 310, 1961

25 - FLAKS I.P., OGURTSOV G.N.
"Slow-ions produced in gases upon passage of fast atom and ion beams".
Soviet Physics JETP, Vol. 14, n° 4, Avril 1962

26 - GABRIEL A.H., HEDDLE D.W.O.
"Excitation processus in helium".
Proc. Roy. Soc. 258A, 124, 1960
(Hilger Jour. January 1962, Vol. VII, n° 1)

27 - GARSTANG R.H.
"Hyperfine structure and intercombination line intensities in the spectra of magnesium, zinc, cadmium and mercury".
J.O.S.A. 52, 845, 1962

(°) texte traduit.

28 - GINZBURG V.L., GLUKHOVETSKAYA N.P.
"The dependence of spectral line intensities on the effective ionisation potential of the arc".
Opt. and Spectrosc. 12, 90, 1962

29 - GOL'FARB B.H., IL'INA E.V.
"Determination of the mean time spent by the atoms, and the diffusion coefficient in the plasma of the arc discharge".
Opt. and Spectrosc. 11, 243, 1961

30 - GOL'FARB V.M., IL'INA E.V.
"Distribution des substances dans l'espace interélectrode d'une décharge d'arc pour diverses compositions du plasma(°)".
Zh. Prikl. Spektrosk. 5, 381, 1966

31 - GORDON C.L., JOHANNESEN R.B.
"A controlled atmosphere chamber".
J. Res. Nat. Bur. Std. 67A, 269, 1963

32 - GRECHIKHIN L.I.
"Effect of polarity on the physical characteristics of the plasma stream of an arc generator".
J. Anal. Chim. USSR 18, 16, 1963

33 - GUREVICH V.L., FIRSOV Yu. A.
"Theory of plasma diffusion in a magnetic field".
Soviet Physics JETP, Vol. 14, n° 4, Avril 1962

34 - GUREVICH D.B., PODMOSHENSKII I.V.
"The relationship between the excitation temperature and the gas temperature in the positive column of an arc discharge".
Opt. and Spectrosc. 15, 319, 1963

35 - HOLDT G.
"A study of the influence of buffers on the accuracy and sensitivity of spectrochemical results".
Applied Spectrosc. 16, 96, 1962

36 - HUTCHERSON J.W., MUNDY B.C., HEFFERLIN R.
"Temperature and self-absorption in an atmospheric chromium arc, and f-values for near-infrared lines of chromium I , from spectrometric measurements with refrigerated photomultiplier tubes".
Applied Spectrosc. 20, 12, 1966

(°) texte traduit.

37 - JAHN R.E.
"Temperature distribution and thermal efficiency of low power arc heated plasma jets".
Brit. J. Appl. Phys. 14, 585, 1963

38 - KITAEVA V.F., OBUKHOV - DENISOV V.V., SOBOLEV N.N.
"Concentration of charged particles in the plasma of an arc burning in an atmosphere of argon and helium".
Opt. and Spectrosc. 12, 94, 1962

39 - KOLESNIKOV V.N., SOBOLEV N.N.
"L'établissement de l'équilibre thermique dans le plasma d'un arc à courant continu dans des gaz inertes".
Communication présentée au Colloqium Spectroscopicum Internationale de Belgrade, Sept.- Oct. 1963

40 - KOROLEV F.A., KVARATSKHELI Iu.K.
"The plasmatron as a light source for spectroscopy".
Opt. and Spectrosc. 10, 200, 1961

41 - LANDON D.O.
"Etude de l'influence de la forme des électrodes sur la vaporisation sélective dans l'arc à courant continu. Electrodes en graphite, l'échantillon étant utilisé comme cathode"(°).
Applied Spectrosc. 11, 99, 1957

42 - LOCHTE - HOLTGREVEN W.
"Influences externes sur l'émission d'un arc électrique".
Spectrochim. Acta, p.111, Mai 1956

43 - LOVCHENKO M.A., SEMENOVA O.P.
"Quelques données expérimentales sur l'effet de l'argon sur la radiation des impuretés dans une décharge d'arc"(°).
Materialy Ural'sk Soveshch Po Spektroskopii 4°,
Sverlosk 1963 18-20 (pub. 1965)

44 - MAJKOWSKI R.F., SCHREIBER T.P.
"Use of controlled atmospheres to minimise matrix effects in spectrographic analysis of tool effects".
Spectrochim. Acta 16, 1200, 1960

(°) texte traduit.

45 - MALYKH V.D., SERD M.A.
"Measurement of the time spent by atoms in light source for spectrum analysis".
Opt. and Spectrosc. 16, 203, 1964

46 - MANDEL'STAM S.L., NEDDLER V.V.
"On the sensitivity of emission spectral analysis".
Opt. and Spectrosc. 10, 196, 1961

47 - MARGOSHES M., SCRIBNER B.F.
"The plasma jet as a spectroscopic source".
Spectrochim. Acta 15, 138, 1959

48 - MARGOSHES M., SCRIBNER B.F.
"Study of the gas-stabilized arc as an emission source for the measurement of oscillator strengths. Determination of some relative gf-values for Fe I".
J. Res. Nat. Bur. Std. 67A, 561, 1963

49 - MARITZ F.R., STRASHEIM A.
"A study of the efficiency of spectrochemical buffers.
I) Influence of buffer cations.
II) Influence of buffer anions.
Applied Spectrosc. 18, 97, 185, 1964

50 - Mc NALLY J.R.
"Role of spectroscopy in thermonuclear research".
J.O.S.A. 49, 328, 1969

51 - MELLICHAMP J.W.
"Characterisation of the voltage fluctuation in the D.C. arc for the spectrochemical analysis".
Anal. Chem. 37, 1211, 1965

52 - MELLICHAMP J.W., BUDER R.K.
"Burning properties of electrodes for D.C.arc analysis".
Applied Spectrosc. 17, 57, 1963

53 - MOCHALOV K.N., RAFF E.L.
"The role played by the surrounding medium in the excitation of atomic spectra in an arc discharge".
Zh. Tekhn. Fiz. 26, 505, 1956
Soviet Phys. Tech. Phys. 1, 487, 1957

54 - NASH D.L.
"The controlled atmosphere D.C.arc for the quantitative determination of trace metals in organics".
Applied Spectrosc. 19, 89, 1965

55 - NIKONOVA E.I., PROKOF'EV V.K.
"The distribution of neutral atoms in the plasma of the D.C. arc".
Opt. and Spectrosc. 6, 162, 1959

56 - NULL M.R., LOZIER W.W.
"Carbon arc as a radiation standard".
J.O.S.A. 52, 1156, 1962

57 - OLSEN H.N.
"The electric arc as a light source for quantitative spectroscopy".
J. Quant. Spectry Radiative Transfer 3, 305, 1963

58 - OSTROVSKII Yu.I., PENKIN N.P.
"Measurement of the absolute values of oscillator strengths for the resonance lines of Ca, Sr and Ba ions".
Opt. and Spectrosc. 10, 3, 1961

59 - OSTROVSKII Yu.I., PENKIN N.P.
"Oscillator strengths of the spectral lines of calcium".
Opt. and Spectrosc. 10, 219, 1961

60 - OSTROVSKII Yu.I., PENKIN N.P.
"The measurement of the absolute values of oscillator strengths in the atomic spectra. I) Sodium".
Opt. and Spectrosc. 11, 1, 1961

61 - OSTROVSKII Yu.I., PENKIN N.P.
"Measurement of the absolute values of oscillator strengths in atomic spectra.II)Resonance lines of atoms of Group II".
Opt. and Spectrosc. 11, 307, 1961

62 - PENKIN N.P., RED'KO T.P.
"The relative oscillator strengths of certain lines of Zn I and Cd I".
Opt. and Spectrosc. 9, 360, 1960

63 - PHILLIPS R.L.
"Theory of the non stationary arc column".
Brit. J. Appl. Phys. 18, 65, 1967

64 - PROKOF'EV V.K., GUREVICH D.B., BELOUSOVA I.M., SNIGIREV Iu A.
"On the question of the build-up time for thermodynamic equilibrium in the plasma of an arc discharge".
Opt. and Spectrosc. 7, 7, 1959

65 - PSZONICKI L., MINCZEWSK J.
"The influence of AgCl and Ga_2O_3 as a spectroscopic carrier on distillation of trace impurities from spectrographic samples".
Spectrochim. Acta 18, 1325, 1962

66 - RAIKHBAUM Ya D., MALYKH V.D.
"A spectroscopic method for studying the diffusion of atoms in an electric arc".
Opt. and Spectrosc. 9, 223, 1960

67 - RICARD R.
"L'effet carbone dans l'analyse spectrographique des matériaux réfractaires".
Spectrochim. Acta 5, 417, 1953

68 - RICARD R.
"Etude de l'effet carbone dans l'analyse spectrographique des matériaux réfractaires".
Communication présentée au 16è Congrès du Groupement pour l'Avancement des Méthodes Spectrographiques (GAMS) 1953

69 - SAMSONOVA Z.N.
"On the mecanism of the carrier effect on the intensity of spectral lines".
Opt. and Spectrosc. 12, 257, 1962

70 - SEMENOVA O.P.
"Mécanisme d'une décharge d'arc".
C. R. Acad. Sc. URSS, Vol.51, 683, 1946

71 - SHVANGIRADZE R.R., OGANEZOV K.A., CHIKHLADZE B.Ya
"Temperature and thermal aquilibrium of arcs burning in inert gases".
Opt. and Spectrosc. 13, 350, 1962

72 - STERNBERG Z.
"Relation entre les processus sur les électrodes de l'émission spectrale"(°).
Spectrochim. Acta, p.217, Mai 1956

73 - THIERS R.E.
"The advantage of controlled atmospheres for arc spectroscopy".
Applied Spectrosc. 7, 157, 1953

(°) texte traduit.

74 - THIERS R.E., VALLEE B.L.
"Influence des gaz nobles sur les caractéristiques de l'arc à courant continu"(°).
Spectrochim. Acta, p.179, Mai 1956

75 - TOLMACHEV Yu A.
"Mécanismes élémentaires dans un plasma de décharge d'arc à courant continu en atmosphère hélium"(°).
Optika i Spektroskopiya 21, 397, 1966

76 - TYMCHUK P., RUSSELL D.S., BERMAN S.S.
"The effect of halide carriers in the spectrographic examination of trace impurities in copper".
Spectrochim. Acta 21, 2051, 1965

77 - VAINSHTEIN L.A.
"The excitation of atoms and ions by electron impact. I) Calculation ignoring exchange".
Opt. and Spectrosc. 11, 163, 1961

78 - VALLEE B.L., ADELSTEIN S.J.
"Studies of the effect of argon and argon-helium mixtures on the D.C. arc".
J.O.S.A. 41, 869, 1951

79 - VALLEE B.L., ADELSTEIN S.J.
"The effect of argon and argon-helium mixtures on D.C.arc".
J.O.S.A. 42, 295, 1952

80 - VALLEE B.L., BAKER M.R.
"Anode temperature and characteristics of the D.C.arc in the noble gases".
J.O.S.A. 46, 77, 1956

81 - VALLEE B.L., PEATTIE R.W.
"Volatilisation rates of elements in the helium D.C.arc".
Anal. Chem. 24, 434, 1952

82 - VALLEE B.L., REIMER C.B., LOOFBOUROW J.R.
"The influence of noble gases on emission spectra in the D.C. arc".
J.O.S.A. 40, 803, 1950

(°) texte traduit.

83 - VALLEE B.L., THIERS R.E.
"Effect of alkali and alkaline earth chlorides on the anode temperature of the D.C. arc".
J.O.S.A. 46, 83, 1956

84 - WANG M.S., CAVE W.T.
"Arc chamber for spectral excitation in controlled atmosphere".
Applied Spectrosc. 18, 189, 1964

85 - ZAIDEL A.N., MALYSHEV G.M., SCHREIDER E.Ya
"On the sensitivity of spectral analysis".
Opt. and Spectrosc. 17, 65, 1964

86 - ZHIGKINSKII A.G., ZAIDEL A.N., KARKLINA E.A.
"Study of a direct current arc at increase pressure".
Opt. and Spectrosc. 10, 368, 1961

LIVRES

(classement d'après l'année de parution)

a)- TRAVERS A.
"L'atome et la valence"
VUIBERT 1950

b)- MOTT N.F., MASSEY H.S.W.
"The theory of atomic collisions"
OXFORD AT THE CLARENDON PRESS 1952, Second Edition

c)- MICHEL P.
"La spectroscopie d'émission"
Armand Colin 1953

d)- BRUHAT G.
"Cours de physique générale – Optique"
MASSON 1954

e)- DELCROIX J.L.
"Introduction à la théorie des gaz ionisés"
DUNOD 1959

f)- DELCROIX J.L.
"Physique des plasmas"
DUNOD 1963

... / ...

g)- PAPOULAR R.
"Phénomènes électriques dans les gaz"
DUNOD 1963

h)- BOUMANS P.W.J.M.
"Theory of spectrochemical excitation"
HILGER 1966

i)- CHARLOTTE PECKER - WIMEL
"Introduction à la spectroscopie des plasmas"
GORDON & BREACH 1967, distribué par DUNOD

j)- MOISEIWITSCH B.L., SMITH S.J.
"Electron impact, excitation of atoms"
N.S.R.D.S. N.B.S. 25, 1968

k)- BADAREU E., POPESCU I.
"Gaz ionisés – Décharges électriques dans les gaz"
DUNOD 1968

TABLES

°)- MOORE C.E.
"Atomic Energy Levels"
N.B.S. Circular 467, Vol. I, II, III

°)- MOORE C.E.
"An Ultraviolet Multiplet Tables"
N.B.S. Circular 488, Section 1, 2, 3

°)- WIESE W.L., SMITH M.W., MILES B.M.
"Atomic Transition Probabilities"
N.S.R.D.S. N.B.S. Vol. I, II

°)- SAIDEL A.N., PROKOFJEW W.K., RAISKY S.M.
"Tables des raies spectrales"
VEB VERLAG TECHNIK BERLIN 1955

°)- HARRISON G.R.
"Massachusetts Institute of Technology Wavelength Tables"
John Wiley and Sons Inc., New York, N.Y. 1939

--ooOOoo--